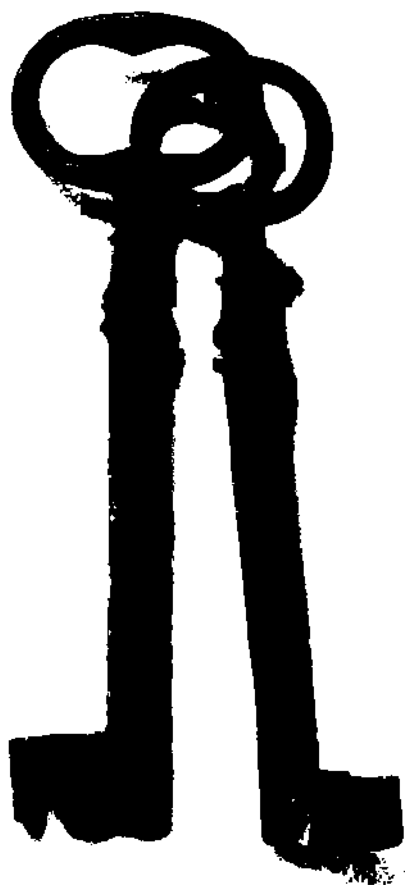
John Losee

Introducción histórica a la filosofía de la ciencia

Alianza Universidad



Introducción histórica a la filosofía de la ciencia

Alianza Universidad

John Losee

Introducción histórica a la filosofía de la ciencia

Versión española de
A. Montesinos

Revisión de
Alberto Elena

Alianza
Editorial

Título original:
A Historical Introduction to the Philosophy of Science
(1st ed., 1972)
(La traducción de esta obra ha sido autorizada por *The Clarendon Press,* Oxford)

Primera edición en «Alianza Universidad»: 1976
Segunda edición en «Alianza Universidad»: 1979
Tercera edición (revisada y ampliada) en «Alianza Universidad»: 1981

Calle Milán, 38; ☎ 200 00 45
ISBN: 84-206-2165-X
Depósito legal: M. 11.261 - 1981
Impreso en Closas-Orcoyen, S. L. Polígono IGARSA
Paracuellos del Jarama (Madrid)
Printed in Spain

ganz1912

INDICE

PROLOGO

Este libro es un resumen histórico del desarrollo de las opiniones relativas al método científico. Su énfasis recae sobre los desarrollos anteriores a 1940. No se ha intentado reproducir el espectro contemporáneo de opiniones sobre la filosofía de la ciencia. Mi propósito ha sido más expositivo que crítico, y he intentado abstenerme de emitir juicios sobre los logros de los grandes filósofos de la ciencia.

Tengo la esperanza de que este libro pueda ser de interés tanto para los estudiantes de filosofía de la ciencia como para los de historia de la ciencia. Si, al leer el libro, algunos de estos estudiantes se sienten estimulados a consultar algunas de las obras incluidas en la Bibliografía al final del libro, consideraré que mi esfuerzo ha merecido la pena.

He recibido durante la preparación de este volumen numerosas sugerencias útiles de Gerd Buchdahl, George Clark y Rom Harré, a los que estoy agradecido al máximo, tanto por su estímulo como por sus críticas. Por supuesto, la responsabilidad del resultado es sólo mía.

LAFAYETTE COLLEGE
Julio 1971

PROLOGO A LA SEGUNDA EDICION

En esta segunda edición se ha reestructurado y ampliado el tratamiento de los desarrollos posteriores a la Segunda Guerra Mundial. Se han incorporado nuevos capítulos sobre el reconstruccionismo lógico de Carnap, Hempel y Nagel; la reacción crítica a esta orientación, y los enfoques alternativos de Kuhn, Lakatos y Laudan.

INTRODUCCION

El decidirse acerca del ámbito de la filosofía de la ciencia es una condición previa para escribir sobre su historia. Desgraciadamente, los filósofos y científicos no están de acuerdo sobre la naturaleza de la filosofía de la ciencia. Incluso los filósofos de la ciencia discrepan a menudo acerca del objeto propio de su disciplina. Un ejemplo de esta falta de acuerdo es la reciente polémica entre Stephen Toulmin y Ernest Nagel sobre si la filosofía de la ciencia debe ser un estudio de los logros científicos *in vivo* o un estudio de los problemas de explicación y confirmación reformulados en términos de la lógica deductiva [1]. Con el fin de establecer una base para la revisión histórica subsiguiente, nos servirá de ayuda el resumir cuatro puntos de vista sobre la filosofía de la ciencia.

Un punto de vista es el de que la filosofía de la ciencia consiste en la formulación de cosmovisiones que sean compatibles con, y en algún sentido se basen en, las teorías científicas importantes. Según esta opinión la tarea del filósofo de la ciencia es elaborar las implicaciones más amplias de la ciencia. Esto puede tomar la forma de una especulación sobre las categorías ontológicas que han de usarse al hablar del «ser en sí». De este modo, Alfred North Whitehead señalaba que los recientes desarrollos en física requieren que las categorías de «substancia» y «atributo» sean reemplazadas por las de

---

[1] Stephen Toulmin, *Sci. Am.*, 214, n. 2 (febrero 1966), 129-33; 214, n. 4 (abril 1966), 9-11. Ernest Nagel, *Sci. Am.*, 214, n. 4 (abril 1966), 8-9.

«proceso» e «influencia»[2]. O puede tomar la forma de pronunciamientos sobre las implicaciones de las teorías científicas para la evaluación de la conducta humana, como en el caso del darwinismo social y la teoría de la relatividad ética. El presente estudio no se ocupa de la «filosofía de la ciencia» en este sentido.

Un segundo punto de vista es que la filosofía de la ciencia consiste en una exposición de los presupuestos y predisposiciones de los científicos. El filósofo de la ciencia puede señalar que los científicos presuponen que la naturaleza no es caprichosa, y que se dan en ella regularidades con un grado de complejidad suficientemente bajo como para ser accesibles al investigador. Además, puede revelar las preferencias de los científicos por las leyes deterministas frente a las estadísticas, o por las explicaciones mecanicistas frente a las teleológicas. Esta visión tiende a asimilar la filosofía de la ciencia a la sociología.

El tercer punto de vista es el de que la filosofía de la ciencia es una disciplina en la que se analizan y clarifican los conceptos y teorías de las ciencias. No consiste esto en proporcionar una exposición semipopular de las últimas teorías, sino más bien en clarificar el significado de términos como «partícula», «onda», «potencial» y «complejo», en su uso científico.

Pero, como ha señalado Gilbert Ryle, esta visión de la filosofía de la ciencia es algo pretenciosa; como si el científico necesitase del filósofo de la ciencia para que le explicase los significados de los conceptos científicos[3]. Parece haber dos posibilidades. O bien el científico entiende el concepto que usa, en cuyo caso no se requiere ninguna clarificación, o bien no lo entiende, en cuyo caso debe investigar sobre las relaciones de ese concepto con otros conceptos y con las operaciones de medición. Tal investigación es una actividad típicamente científica. Nadie sostendría que, cada vez que un científico realiza una investigación de ese tipo, esté practicando filosofía de la ciencia. Como mínimo, debemos concluir que no todos los análisis de los conceptos científicos pueden calificarse de filosofía de la ciencia. Sin embargo, puede ser que ciertos tipos de análisis conceptuales deban clasificarse como parte de la filosofía de la ciencia. Esta cuestión quedará en suspenso hasta que consideremos una cuarta visión de la filosofía de la ciencia.

---

[2] El propio Whitehead no usó el término «influencia». Sobre su posición acerca de la relación entre la ciencia y la filosofía, véase, por ejemplo, su *Modes of Thought* (Modos de pensamiento) (Cambridge: Cambridge University Press, 1938), 173-232.

[3] Gilbert Ryle, «Systematically Misleading Expressions», en A. Flew ed., *Essays on Logic and Language. First Series* (Oxford: Blackwell, 1951), 11-13.

Un cuarto punto de vista, que es el que se adopta en esta obra, es que la filosofía de la ciencia es una criteriología de segundo orden. El filósofo de la ciencia busca respuestas a preguntas tales como:

1) ¿Qué características distinguen a la investigación científica de otros tipos de investigación?
2) ¿Qué procedimiento debe seguir el científico al investigar la naturaleza?
3) ¿Qué condiciones debe satisfacer una explicación científica para ser correcta?
4) ¿Cuál es el rango cognoscitivo de las leyes y principios científicos?

Formular estas preguntas es asumir una posición ventajosa, alejada un paso de la propia práctica científica. Se ha de distinguir entre hacer ciencia y pensar acerca de cómo debe hacerse ciencia. El análisis del método científico es una disciplina de segundo orden, cuyo objeto son los procedimientos y estructuras de las diversas ciencias:

NIVEL	DISCIPLINA	OBJETO
2	Filosofía de la ciencia	Análisis de los procedimientos y de la lógica de la explicación científica
1	Ciencia	Explicación de los hechos
0		Hechos

La cuarta visión de la filosofía de la ciencia incorpora ciertos aspectos de las visiones segunda y tercera. Por ejemplo, puede que la investigación de las predisposiciones de los científicos sea relevante para el problema de la evaluación de teorías científicas. Esto es particularmente cierto de los juicios acerca de la compleción de las explicaciones. Einstein, por ejemplo, insistía en que las explicaciones estadísticas de la desintegración radiactiva eran incompletas. Mantenía que una interpretación completa debía permitir hacer predicciones sobre la conducta de los átomos individuales.

Además, los análisis de los significados de los conceptos pueden ser relevantes para la demarcación de la investigación científica de otros tipos de investigación. Por ejemplo, si se puede mostrar que un término se usa de tal manera que no se proporcionan medios para distinguir las aplicaciones correctas de las incorrectas, entonces las interpretaciones en las que figure el concepto pueden ser excluidas del dominio de la ciencia. Algo parecido tuvo lugar en el caso del concepto de «simultaneidad absoluta».

La distinción que se ha indicado entre ciencia y filosofía de la ciencia no es rígida. Se basa en una diferencia de intención más que en una diferencia de objeto. Consideremos la cuestión de la adecuación relativa de la teoría ondulatoria de la luz de Young y la teoría electromagnética de Maxwell. Es el científico *qua* científico quien juzga que la teoría de Maxwell es superior, Y es el filósofo de la ciencia (o el científico *qua* filósofo de la ciencia) quien investiga los criterios generales de aceptabilidad que se hallan implicados en juicios de este tipo. Es claro que estas actividades se interpenetran. No es probable que el científico que ignora los precedentes en la evaluación de teorías realice un trabajo adecuado de evaluación él mismo. Y no es probable que el filósofo de la ciencia ignorante de la práctica científica haga declaraciones agudas sobre el método científico.

El reconocimiento de que la línea divisoria entre ciencia y filosofía de la ciencia no es rígida queda reflejado en la elección de objeto para esta visión histórica. La fuente primaria es lo que los científicos y filósofos han dicho sobre el método científico. En algunos casos esto es suficiente. Es posible discutir las filosofías de la ciencia de Whewell y Mill, por ejemplo, exclusivamente en términos de lo que han escrito sobre el método científico. En otros casos, sin embargo, esto no es suficiente. Para presentar las filosofías de la ciencia de Galileo y Newton, es necesario hacer una comparación entre lo que han escrito sobre el método científico y su práctica científica real.

Además, los desarrollos en la propia ciencia, especialmente la introducción de nuevos tipos de interpretación, pueden proporcionar luego grano para el molino de los filósofos de la ciencia. Es por esta razón por la que se han incluido unas breves explicaciones de la obra de Euclides, Arquímedes y los atomistas clásicos, entre otros.

Capítulo 1

LA FILOSOFIA DE LA CIENCIA DE ARISTOTELES

ARISTÓTELES (384-322 a. C.) nació en Estagira, al norte de Grecia. Su padre era médico en la corte de Macedonia. A los diecisiete años, Aristóteles fue enviado a Atenas a estudiar en la Academia de Platón. Estuvo unido a la Academia durante un período de veinte años. Con la muerte de Platón, en el 347 a. C., y la posterior elección de Espeusipo, de orientación matemática, para dirigir la Academia, Aristóteles decidió seguir sus estudios biológicos y filosóficos en Asia Menor. En el 342 a. C. regresó a Macedonia como tutor de Alejandro Magno, relación que duró dos o tres años.

Hacia el 335 a. C. Aristóteles había regresado a Atenas y establecido la Escuela Peripatética en el Liceo. En el curso de su enseñanza en el Liceo, se ocupó de lógica, epistemología, física, biología, ética, política y estética. Las obras de este período que han llegado hasta nosotros parecen ser compilaciones de apuntes para las clases, más que obras pulidas destinadas a su publicación. Abarcan desde la especulación sobre los atributos predicables del «ser en sí» hasta enciclopédicas presentaciones de datos de historia natural y las constituciones de las ciudades-Estado griegas. Los *Segundos Analíticos* es la principal obra de Aristóteles sobre filosofía de la ciencia. Además, la *Física* y la *Metafísica* contienen discusiones de ciertos aspectos del método científico.

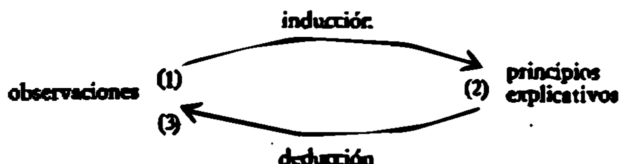
Aristóteles dejó Atenas después de la muerte de Alejandro en el 323 a. C., por miedo de que Atenas «pecara dos veces contra la filosofía». Murió al año siguiente.

Aristóteles fue el primer filósofo de la ciencia. Creó la disciplina al analizar ciertos problemas que surgen en conexión con la explicación científica.

El método inductivo-deductivo de Aristóteles

Aristóteles consideraba la investigación científica como una progresión de las observaciones hasta los principios generales, para

volver a las observaciones. Mantenía que el científico debe inducir principios explicativos a partir de los fenómenos que se han de explicar, y después deducir enunciados acerca de los fenómenos a partir de premisas que incluyan estos principios. El procedimiento inductivo-deductivo de Aristóteles puede ser representado como sigue:



Aristóteles pensaba que la investigación científica comienza con el conocimiento de que suceden ciertos fenómenos, o de que coexisten ciertas propiedades. La explicación científica sólo se consigue cuando se deducen enunciados sobre esos fenómenos o propiedades a partir de los principios explicativos. De este modo, la explicación científica es una transición desde el conocimiento de un hecho (punto (1) del diagrama anterior) hasta el conocimiento de las razones del hecho (punto (3)).

Por ejemplo, un científico podría aplicar el procedimiento inductivo-deductivo a un eclipse lunar del siguiente modo. Comienza con la observación del oscurecimiento progresivo de la superficie lunar. Induce entonces de esta observación, y de otras observaciones, varios principios generales: que la luz viaja en línea recta, que los cuerpos opacos producen sombras, y que una determinada situación de dos cuerpos opacos cerca de un cuerpo luminoso coloca a un cuerpo opaco en la sombra del otro. De estos principios generales, y de la condición de que la Tierra y la Luna son cuerpos opacos, que, en este caso, mantienen la relación geométrica requerida con el Sol luminoso, deduce a continuación un enunciado acerca del eclipse lunar. Ha progresado desde el conocimiento factual de que la superficie de la Luna se ha oscurecido hasta la comprensión de por qué tuvo lugar esto.

La etapa inductiva

Según Aristóteles, toda cosa particular es una unión de materia y forma. Materia es lo que hace que un particular sea un individuo único, y forma es lo que hace que el particular sea un miembro de una clase de cosas similares. Especificar la forma de un particular es especificar las propiedades que comparte con otros particulares. Por ejemplo, la forma de una jirafa particular incluye la propiedad

de tener un estómago con cuatro cavidades.

Aristóteles sostenía que las generalizaciones sobre las formas se extraían de la experiencia sensible por medio de la inducción. Se ocupó de dos tipos de inducción. Los dos tipos comparten la característica de proceder de enunciados particulares a enunciados generales.

El primer tipo de inducción es la enumeración simple, en la que los enunciados sobre objetos o acontecimientos individuales se toman como base para una generalización sobre la especie de la que son miembros. O, en un nivel más alto, los enunciados sobre especies individuales se toman como base para una generalización sobre un género.

Primer tipo de inducción de Aristóteles:

Enumeración simple

Premisas		*Conclusión*
lo que se observa que es verdadero de varios individuos	generalización →	lo que se presume que es verdadero de la especie a que pertenecen los individuos
lo que se observa que es verdadero de varias especies	generalización →	lo que se presume que es verdadero del género a que pertenecen las especies

En un argumento inductivo por enumeración simple, las premisas y la conclusión contienen los mismos términos descriptivos. Un argumento típico por enumeración simple tiene la forma:

a_1 tiene la propiedad P
a_2 » » P
a_3 » » P

∴ Todos los a tienen la propiedad P.

El segundo tipo de inducción es una intuición directa de aquellos principios generales que están ejemplificados en los fenómenos. La inducción intuitiva es una cuestión de perspicacia. Esta es la capacidad para ver lo que es «esencial» en los datos de la experiencia sensible. Un ejemplo dado por Aristóteles es el caso de un científico que advierte en varias ocasiones que el lado brillante de la Luna está vuelto hacia el Sol, y concluye que la Luna brilla porque refleja la luz solar [1].

La operación de la inducción intuitiva es análoga a la operación de la «visión» del taxonomista. El taxonomista es un científico que

[1] Aristóteles, *Analíticos posteriores*, 89[b], 10-20 [ed. cast. en *Obras;* Madrid, Aguilar, 1964 (trad. por F. de P. Samaranch)].

ha aprendido a «ver» los atributos genéricos y las *differentiae* de un espécimen. En cierto sentido, el taxonomista «ve más que» el que observa el espécimen sin estar entrenado. El taxonomista sabe lo que hay que buscar. Esta es una habilidad que se consigue, cuando se la consigue, sólo después de una vasta experiencia. Es probable que, cuando Aristóteles escribió acerca de la inducción intuitiva, fuese éste el tipo de «visión» que tenía en mente. El propio Aristóteles fue un taxonomista de mucho éxito, que llegó a clasificar unas 540 especies biológicas.

La etapa deductiva

En la segunda etapa de la investigación científica, las generalizaciones logradas por inducción se usan como premisas para la deducción de enunciados sobre las observaciones iniciales. Aristóteles estableció una restricción importante sobre los tipos de enunciados que pueden aparecer como premisas y conclusiones de los argumentos deductivos en la ciencia. Permitía sólo aquellos enunciados que afirmasen que una clase está incluida en, o está excluida de, una segunda clase. Si «S» y «P» se seleccionan como símbolos de las dos clases, los enunciados que Aristóteles permitía son:

Tipo	*Enunciado*	*Relación*
A	Todos los *S* son *P*	*S* está totalmente incluido en *P*
E	Ningún *S* es *P*	*S* está totalmente excluido de *P*
I	Algunos *S* son *P*	*S* está parcialmente incluido en *P*
O	Algunos *S* no son *P*	*S* está parcialmente excluido de *P*

Aristóteles sostenía que el tipo *A* es el más importante de los cuatro. Creía que ciertas propiedades son esencialmente inherentes a los individuos de ciertas clases, y que los enunciados del tipo «todos los *S* son *P*» reproducen la estructura de estas relaciones. Quizás por esta razón, Aristóteles mantenía que una explicación científica adecuada debe darse en términos de enunciados de este tipo. Más específicamente, citó el silogismo en Barbara como el paradigma de demostración científica. Este sigolismo está formado por enunciados del tipo *A* ordenados del modo siguiente:

Todos los *M* son *P*.
Todos los *S* son *M*.

∴ Todos los *S* son *P*.

donde *P, S* y *M* son los términos mayor, menor y medio del silogismo.

Aristóteles mostró que este tipo de silogismo es válido. Si es cierto que todo *S* está incluido en *M* y que todo *M* está incluido en *P*, debe ser también cierto que todo *S* está incluido en *P*. Esto es así sin que importe qué clases sean las que designan «*S*», «*P*» y «*M*». Uno de los grandes logros de Aristóteles fue establecer que la validez de un argumento viene determinada únicamente por la *relación* entre premisas y conclusión.

Aristóteles interpretó la etapa deductiva de la investigación científica como la interposición de términos medios entre los términos sujeto y predicado del enunciado que ha de probarse. Por ejemplo, el enunciado «todos los planetas son cuerpos que tienen brillo constante» puede deducirse seleccionando «cuerpos cercanos a la tierra» como término medio. En forma silogística, la prueba es:

Todos los cuerpos cercanos a la Tierra son cuerpos que tienen brillo constante.
Todos los planetas son cuerpos cercanos a la Tierra.

∴ Todos los planetas son cuerpos que tienen brillo constante.

Mediante la aplicación de la etapa deductiva del procedimiento científico, el científico ha avanzado desde el conocimiento de un hecho acerca de los planetas hasta la comprensión de por qué este hecho es como es [2].

Requisitos empíricos para la explicación científica

Aristóteles reconocía que un enunciado que predique un atributo de un término de clase puede siempre ser deducido de más de un conjunto de premisas. Cuando se eligen diferentes términos medios, se producen argumentos diferentes, y algunos argumentos son más satisfactorios que otros. El silogismo presentado anteriormente, por ejemplo, es más satisfactorio que el siguiente:

Todas las estrellas son cuerpos que tienen brillo constante.
Todos los planetas son estrellas.

∴ Todos los planetas son cuerpos que tienen brillo constante.

Ambos silogismos tienen la misma conclusión y la misma forma lógica, pero el silogismo inmediatamente anterior tiene premisas falsas. Aristóteles insistió en que las premisas de una explicación satisfactoria deben ser verdaderas. Por lo tanto, excluía de la clase de las expli-

---

2 Ibid., 78a38-78b3.

caciones satisfactorias aquellos silogismos válidos que tienen conclusiones verdaderas pero premisas falsas.

El requisito de que las premisas sean verdaderas es uno de los cuatro requisitos extralógicos que Aristóteles exigía a las premisas de las explicaciones científicas. Los otros tres requisitos son que las premisas deben ser indemostrables, conocerse mejor que la conclusión y ser causas de la atribución hecha en la conclusión [3].

Aunque Aristóteles afirmó que las premisas de toda explicación científica adecuada debían ser indemostrables, está claro por el contexto de su presentación que estaba interesado en insistir solamente en que debe haber *algunos* principios dentro de cada ciencia que no puedan deducirse de principios más básicos. La existencia de algunos principios indemostrables dentro de una ciencia es necesaria para evitar una regresión infinita en las explicaciones. En consecuencia, no todo el conocimiento de una ciencia es susceptible de ser probado. Aristóteles mantenía que las leyes más generales de la ciencia, y las definiciones que estipulan los significados de los atributos propios de esa ciencia, son indemostrables.

El requisito de que las premisas deben «conocerse mejor que» la conclusión es un reflejo de la opinión de Aristóteles de que las leyes generales de una ciencia deben ser evidentes. Aristóteles sabía que un argumento deductivo no puede dar más información de la que implican sus premisas, e insistía en que los primeros principios de demostración deben ser al menos tan evidentes como las conclusiones extraídas de ellos.

El más importante de los cuatro requisitos es el de la relación causal. Es posible construir silogismos válidos con premisas verdaderas de tal modo que las premisas no establezcan la causa de la atribución que se hace en la conclusión. Es instructivo comparar los dos silogismos siguientes acerca de los rumiantes:

Silogismo del hecho razonado

Todos los rumiantes con estómagos de cuatro cavidades son animales a los que faltan los incisivos superiores.

Todos los bueyes son rumiantes con estómagos de cuatro cavidades.

∴ Todos los bueyes son animales a los que faltan los incisivos superiores.

Silogismo del hecho

Todos los rumiantes con pezuñas partidas son animales a los que faltan los incisivos superiores.

Todos los bueyes son rumiantes con las pezuñas partidas.

∴ Todos los bueyes son animales a los que faltan los incisivos superiores.

---

[3] Ibid., 71^b20-72^a5.

Aristóteles diría que las premisas del silogismo del hecho razonado establecen la causa del hecho de que a los bueyes les falten los incisivos en el maxilar superior. La capacidad de los rumiantes para almacenar comida parcialmente masticada en una cavidad del estómago y volverla a la boca para una posterior masticación explica por qué no necesitan, y no tienen, incisivos en el maxilar superior. Por el contrario, las premisas del correspondiente silogismo del hecho no establecen la causa de la falta de incisivos superiores. Aristóteles diría que la correlación entre la estructura de la pezuña y la de la mandíbula es accidental.

Lo que se necesita en este punto es un criterio para distinguir las correlaciones causales de las accidentales. Aristóteles reconoció esta necesidad. Sugirió que en una relación causal el atributo (1) es verdadero de todos los casos del sujeto, (2) es verdadero precisamente del sujeto y no como parte de un todo mayor, y (3) es «esencial para» el sujeto.

Los criterios de Aristóteles de la relación causal dejan mucho que desear. El primer criterio puede aplicarse para eliminar de la clase de las relaciones causales cualquier relación que tenga excepciones. Pero se podría establecer una relación causal aplicando el criterio sólo a aquellos casos en los que la clase del sujeto puede enumerarse completamente. Sin embargo, la gran mayoría de las relaciones causales de interés para el científico tienen un ámbito de predicación abierto. Por ejemplo, que los objetos más densos que el agua se hunden en ésta es una relación que, se cree, se mantiene para todos los objetos, pasados, presentes y futuros, y no sólo para aquellos pocos objetos que se han puesto en el agua. No es posible mostrar que todo caso de la clase del sujeto tenga esta propiedad.

El tercer criterio de Aristóteles identifica la relación causal con la atribución «esencial» de un predicado a un sujeto. Esto coloca el problema un paso atrás. Desgraciadamente, Aristóteles no proporcionó un criterio para determinar qué atribuciones son «esenciales». Sin duda, sugirió que «animal» es un predicado esencial de «hombre», mientras que «musical» no lo es, y que cortar el cuello de un animal está esencialmente relacionado con su muerte, mientras que dar un paseo no está esencialmente relacionado con la caída de un rayo [4]. Pero una cosa es dar ejemplos de predicación esencial y de predicación accidental, y otra estipular un criterio general para hacer la distinción

[4] Ibid., 73ª25-73ᵇ15.

La estructura de una ciencia

Aunque Aristóteles no especificó un criterio para la atribución «esencial» de un predicado a una clase de sujetos, insistió en que cada ciencia particular tiene un género de sujetos y un conjunto de predicados distintivos. El género de sujetos de la física, por ejemplo, es la clase de casos en los que los cuerpos cambian sus posiciones en el espacio. Entre los predicados que son propios de esta ciencia están «posición», «velocidad» y «resistencia». Aristóteles destacó que una explicación satisfactoria de un fenómeno debe utilizar los predicados de la ciencia a la que pertenezca el fenómeno. Sería inapropiado, por ejemplo, explicar el movimiento de un proyectil en términos de predicados tan distintivamente biológicos como «crecimiento» y «desarrollo».

Aristóteles sostenía que una ciencia individual es un grupo deductivamente organizado de enunciados. En el nivel más alto de generalidad se encuentran los primeros principios de *todas* las demostraciones: los principios de Identidad, de No Contradicción y del Tercero Excluido. Estos son principios aplicables a *todos* los argumentos deductivos. En el siguiente nivel de generalidad se encuentran los primeros principios y definiciones de la ciencia particular. Los primeros principios de la física, por ejemplo, incluirían:

Todo movimiento es o natural o violento.
Todo movimiento natural es un movimiento hacia un lugar natural; p. ej., los objetos sólidos se mueven por naturaleza hacia el centro de la Tierra.
El movimiento violento está causado por la acción continua de un agente. (La acción a distancia es imposible.)
El vacío es imposible.

Los primeros principios de una ciencia no están sujetos a deducción de otros principios más básicos. Son los enunciados verdaderos más generales que pueden hacerse acerca de los predicados propios de la ciencia. Como tales, los primeros principios son los puntos de partida de todas las demostraciones de la ciencia. Funcionan como premisas para la deducción de las correlaciones que se encuentren en niveles más bajos de generalidad.

Las cuatro causas

Aristóteles señaló otro requisito adicional para las interpretaciones científicas. Exigió que una explicación adecuada de una correlación o proceso debe especificar cuatro aspectos de lo que constituye

su causa. Los cuatro aspectos son la causa formal, la causa material, la causa eficiente y la causa final.

Un proceso susceptible de esta clase de análisis es el cambio de color de la piel de un camaleón según pasa de una hoja con un verde brillante a una rama de un gris apagado. La causa formal es la estructura del proceso. Describir una causa formal es especificar una generalización acerca de las condiciones en las que este tipo de cambio de color tiene lugar. La causa material es la sustancia de la piel que sufre un cambio de color. La causa eficiente es el paso de la hoja a la rama, paso acompañado por un cambio en la luz reflejada y por el cambio químico correspondiente en la piel del camaleón. La causa final del proceso es que el camaleón debe evitar ser descubierto por parte de sus perseguidores.

Aristóteles insistió en que toda explicación científica de una correlación o proceso debe dar cuenta de su causa final, o *telos*. Las explicaciones teleológicas son las que usan la expresión «con el fin de», o alguna equivalente. Aristóteles exigía explicaciones teleológicas no sólo del crecimiento y del desarrollo de los organismos vivos, sino también de los movimientos de los objetos inanimados. Por ejemplo, mantenía que el fuego se elevaba con el fin de alcanzar su «lugar natural» (una concha esférica justamente dentro de la órbita de la Luna).

Las interpretaciones teleológicas no necesitan presuponer deliberación o elección conscientes. Decir, por ejemplo, que «los camaleones cambian de color con el fin de evitar ser descubiertos» no supone afirmar una actividad consciente por parte de los camaleones. Ni supone afirmar que la conducta de los camaleones cumple algún «propósito cósmico».

Sin embargo, las interpretaciones teleológicas presuponen que un estado de cosas futuro determina el modo en que se desarrolla un estado de cosas presente. Una bellota se desarrolla del modo que lo hace porque debe llevar a cabo su fin natural como roble; una piedra cae porque debe conseguir su fin natural, un estado de reposo lo más cerca posible del centro de la Tierra; y así sucesivamente. En cada caso, el estado futuro «tira», por decirlo así, de la sucesión de estados que conducen hacia él.

Aristóteles criticó a los filósofos que pretendían explicar el cambio exclusivamente en términos de sus causas materiales y eficientes. Criticaba particularmente el atomismo de Demócrito y Leucipo, en el que los procesos naturales se «explicaban» por el agrupamiento o dispersión de átomos invisibles. En gran medida, la crítica de Aristóteles se basaba en el rechazo que de las causas finales hacían los atomistas.

Aristóteles también criticó a aquellos filósofos naturales pitagóricos que creían que habían explicado un proceso cuando habían encontrado una relación matemática ejemplificada en él. Según Aristóteles, el enfoque pitagórico adolecía de una excesiva preocupación por las causas formales.

Se debe añadir, sin embargo, que Aristóteles reconocía la importancia de las relaciones numéricas y geométricas en la ciencia física. En realidad, distinguió un grupo de «ciencias mixtas» —astronomía, óptica, música y mecánica [5]— cuyo tema son las relaciones matemáticas entre objetos físicos.

La demarcación de la ciencia empírica

Aristóteles trató, no sólo de señalar el objeto de cada ciencia individual, sino también de distinguir la ciencia empírica, como un todo, de la matemática pura. Logró esta demarcación distinguiendo entre matemáticas aplicadas, como las que se practican en las ciencias mixtas, y matemáticas puras, que se ocupan de números y figuras en abstracto.

Aristóteles mantenía que, mientras que el objeto de la ciencia empírica es el cambio, el objeto de la matemática pura es lo que no cambia. El matemático puro abstrae de las situaciones físicas ciertos aspectos cuantitativos de los cuerpos y de sus relaciones, y se ocupa exclusivamente de estos aspectos. Aristóteles sostenía que estas formas matemáticas no tenían existencia objetiva. Sólo en la mente del matemático sobreviven las formas a la destrucción de los cuerpos de los que se abstraen.

El carácter necesario de los primeros principios

Aristóteles afirmó que el conocimiento científico genuino tiene el rango de verdad necesaria. Mantenía que los primeros principios adecuadamente formulados de las ciencias, y sus consecuencias deductivas, no pueden ser sino verdaderos. Como los primeros principios predican atributos de términos de clase, se puede decir que Aristóteles mantenía las siguientes tesis:

---

[5] Aristóteles incluyó la mecánica en el conjunto de las ciencias mixtas en los *Segundos Analíticos*, 76ª23-5, y en la *Metafísica*, 1078ª14-17, pero no menciona la mecánica en la *Física*, 194ª7-11.

1) Ciertas propiedades son esencialmente inherentes a los individuos de ciertas clases; un individuo no sería miembro de una de esas clases si no poseyera los atributos en cuestión.

2) En tales casos, existe una identidad de estructura entre el enunciado universal afirmativo que predica un atributo de un término de clase y la inherencia no verbal de la propiedad correspondiente en los miembros de la clase.

3) Es posible para el científico intuir correctamente este isomorfismo entre lenguaje y realidad.

La posición de Aristóteles es plausible. Nosotros creemos que «todos los hombres son mamíferos», por ejemplo, es necesariamente verdadero, mientras que «todos los cuervos son negros» sólo es accidentalmente verdadero. Aristóteles podría decir que, aunque un hombre no podría dejar de ser mamífero, un cuervo podría muy bien no ser negro. Pero, como se señaló arriba, aunque Aristóteles dio ejemplos de esta clase para comparar «predicación esencial» con «predicación accidental», no formuló un criterio general para determinar qué predicaciones son esenciales.

Aristóteles legó a sus sucesores la fe en que, como los primeros principios de las ciencias reflejan relaciones de la naturaleza que no podrían ser otras que las que son, estos principios no pueden ser falsos. Sin duda, él no podía certificar esta fe. A pesar de esto, la posición de Aristóteles de que las leyes científicas establecen verdades necesarias ha tenido una amplia influencia en la historia de la ciencia.

Capítulo 2

LA ORIENTACION PITAGORICA

PLATÓN (428/7-348/7 a. C.) nació en el seno de una distinguida familia ateniense. En su juventud tuvo ambiciones políticas, pero se desilusionó, primero con la tiranía de los Treinta, y después con la restaurada democracia que ejecutó a su amigo Sócrates en el 399 a. C. En etapas posteriores de su vida, Platón hizo dos visitas a Siracusa con la esperanza de educar para ser un hombre de estado responsable a su joven gobernador. Las visitas no tuvieron éxito.

Platón fundó la Academia en el 387 a. C. Bajo su dirección, esta institución ateniense se convirtió en un centro de investigación en matemáticas, ciencia y teoría política. El propio Platón contribuyó con diálogos que tratan del ámbito completo de la experiencia humana. En el *Timeo* presenta como «historia probable» la imagen de un universo estructurado según armonías geométricas.

PTOLOMEO (CLAUDIUS PTOLOMEUS, *c.* 100-*c.* 178) fue un astrónomo alejandrino sobre cuya vida no se conoce virtualmente nada. Su obra principal, *El Almagesto,* es una síntesis enciclopédica de los resultados de la astronomía griega, síntesis puesta al día con nuevas observaciones. Además, introdujo el concepto de movimiento circular con velocidad angular uniforme de un punto ecuante, un punto a una cierta distancia del centro del círculo. Utilizando ecuantes, además de epiciclos y deferentes, era capaz de predecir con bastante exactitud los movimientos de los planetas con respecto al zodíaco.

La visión pitagórica de la naturaleza

Probablemente sea imposible que un científico pueda interrogar a la naturaleza desde un punto de vista totalmente desinteresado. Aun cuando no tenga una finalidad propia, es probable que posea un modo distintivo de considerar la naturaleza. La «orientación pita-

górica» es un modo de considerar la naturaleza que ha tenido mucha influencia en la historia de la ciencia. Un científico que pertenezca a esta orientación cree que lo «real» es la armonía matemática que está presente en la naturaleza. El pitagórico comprometido está convencido de que en el conocimiento de esta armonía matemática reside la comprensión de la estructura fundamental del universo. Una convincente expresión de este punto de vista es la declaración de Galileo de que

la filosofía está escrita en este gran libro —me refiero al universo— que permanece continuamente abierto a nuestra contemplación, pero que no puede ser comprendido a menos que se aprenda primero a comprender el lenguaje y a interpretar los caracteres en los que está escrito. Está escrito en el lenguaje de la matemática, y sus caracteres son triángulos, círculos y otras figuras geométricas, sin los cuales es humanamente imposible comprender una sola palabra de él [1].

Esta orientación se originó en el siglo VI a. C., cuando Pitágoras, o sus seguidores, descubrió que las armonías musicales podrían ser correlacionadas con razones matemáticas, a saber:

intervalo	*razón*
octava	2 : 1
quinta	3 : 2
cuarta	4 : 3

Los primeros pitagóricos encontraron, además, que estas razones se mantienen con independencia de que las notas se produzcan por cuerdas que vibren o por columnas de aire que resuenen. Posteriormente, los filósofos pitagóricos de la naturaleza vieron armonías musicales en el universo en su conjunto. Asociaron los movimientos de los cuerpos celestes con sonidos, de tal manera que se producía una «armonía de las esferas».

Platón y la orientación pitagórica

Algunas veces Platón ha sido condenado por promulgar supuestamente una orientación filosófica perjudicial para el progreso de la ciencia. La orientación aludida consiste en dejar de lado el estudio del mundo tal como se revela en la experiencia sensible, en favor de

[1] Galileo, *The Assayer,* trad. por S. Drake, en *The Controversy on the Comets of 1618,* trad. por S. Drake y C. D. O'Malley (Filadelfia, University of Pennsylvania Press, 1960), 183-84.

la contemplación de las ideas abstractas. Los detractores de Platón suelen señalar *La República*, 529-30, donde Sócrates recomienda desviar la atención de los transitorios fenómenos celestes a la pureza intemporal de las relaciones geométricas. Pero, como Dicks ha señalado, el consejo de Sócrates se da en el contexto de una discusión de la educación ideal de los gobernantes futuros. En este contexto, a Platón le interesa destacar aquellos tipos de estudio que promuevan el desarrollo de la capacidad para el pensamiento abstracto [2]. Así, compara la «geometría pura» con su aplicación práctica, y la astronomía geométrica con la observación de rayas luminosas en el cielo.

Todo el mundo está de acuerdo en que Platón no se satisfacía con un conocimiento «meramente empírico» de la sucesión y coexistencia de fenómenos. Esta clase de «conocimiento» debe ser transcendido, de tal modo que se haga patente el orden racional subyacente. El punto en que se dividen los intérpretes de Platón está en si es necesario que el que busca esta verdad más profunda deba dejar de lado lo que se le da en la experiencia sensible. Mi punto de vista es que Platón diría en este punto que «no», y mantendría que este «conocimiento más profundo» ha de conseguirse descubriendo la estructura que «yace escondida en» los fenómenos. De cualquier manera, es dudoso que Platón hubiese tenido ninguna influencia en la historia de la ciencia, si no hubiese sido interpretado de esta forma por los siguientes filósofos de la naturaleza.

Esta influencia ha sido expresada principalmente en términos de actitudes generales hacia la ciencia. Los filósofos de la naturaleza que se consideraban a sí mismos como «platónicos» creían en la racionalidad subyacente del universo y en la importancia de descubrirla. Y encontraban apoyo en lo que consideraban una convicción similar de Platón. En la última Edad Media y en el Renacimiento, este platonismo fue un importante corrector, tanto de la denigración de la ciencia en los círculos religiosos como de la preocupación por las disputas basadas en textos estándar en los círculos académicos.

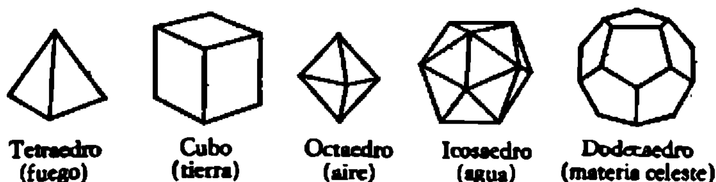
Además, el adepto de la filosofía de Platón tendía a reforzar una orientación pitagórica hacia la ciencia. De hecho, la orientación pitagórica llegó a ser influyente en el occidente cristiano en gran medida como resultado de la combinación del *Timeo* de Platón con la Sagrada Escritura. En el *Timeo*, Platón describió la creación del universo por un Demiurgo benevolente, quien imprimió una estructura matemática a una materia primordial informe. Esta explicación se

---

[2] D. R. Dicks, *Early Greek Astronomy to Aristotle* (Londres, Thames and Hudson, 1970), 104-07.

la apropiaron los apologistas cristianos, que identificaron la estructura con el Plan de la Creación Divino y redujeron el énfasis en la materia primordial. Para los que aceptaron esta síntesis, la tarea del filósofo de la naturaleza era descubrir la estructura matemática según la cual se ordena el universo.

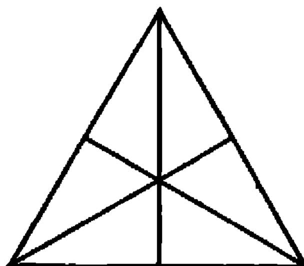
El mismo Platón sugirió en el *Timeo* que los cinco «elementos» —cuatro terrestres y uno celeste— pueden ser correlacionados con los cinco sólidos regulares.



Tetraedro (fuego) | Cubo (tierra) | Octaedro (aire) | Icosaedro (agua) | Dodecaedro (materia celeste)

Asignó el tetraedro al fuego, porque el tetraedro es el sólido regular con los ángulos más agudos, y porque el fuego es el más penetrante de los elementos. Asignó el cubo a la tierra, porque voltear un cubo sobre su base cuesta más esfuerzo que voltear cualquier otro de los tres sólidos restantes, y porque la tierra es el más «sólido» de los elementos. Platón utilizó razonamientos semejantes para asignar el octaedro al aire, el icosaedro al agua y el dodecaedro a la materia celeste. Además, sugirió que las transformaciones entre agua, aire y fuego provienen de una «disolución» de cada cara triangular equilátera de los sólidos regulares respectivos en seis triángulos de 30°, 60° y 90°[3], con la subsecuente recombinación de estos triángulos más pequeños para formar las caras de otros sólidos regulares. La explicación de Platón de la materia y de sus propiedades en términos de figuras geométricas está en gran medida en la tradición pitagórica.

[3] O sea:



La tradición de «salvar las apariencias»

El filósofo de la naturaleza pitagórica cree que las relaciones matemáticas a las que se ajustan los fenómenos constituyen explicaciones de por qué las cosas son como son. Este punto de vista ha encontrado la oposición, casi desde el principio, de un punto de vista rival. Este punto de vista rival es el de que las hipótesis matemáticas deben distinguirse de las teorías sobre la estructura del universo. Según esta concepción, una cosa es «salvar las apariencias» sobreponiendo relaciones matemáticas a los fenómenos, y otra cosa muy distinta explicar por qué los fenómenos son como son.

Esta distinción entre teorías físicamente verdaderas e hipótesis que salvan las apariencias fue establecida por Gémino en el siglo I antes de Cristo. Gémino esbozó dos enfoques para el estudio de los fenómenos celestes. Uno es el enfoque del físico, que deriva los movimientos de los cuerpos celestes de sus naturalezas esenciales. El segundo es el del astrónomo, que deriva los movimientos de los cuerpos celestes de figuras y movimientos matemáticos. Declaró que

> no forma parte de la ocupación del astrónomo conocer qué es adecuado por naturaleza a una pos ción de reposo, y qué tipo de cuerpos son aptos para mo erse, sino que introduce hipótesis según las cuales algunos cuerpos permanecen fijos, ientras que otros se mue en, y considera después a qué hipótesis corresponden los fenó enos real ente observados en el cielo[4].

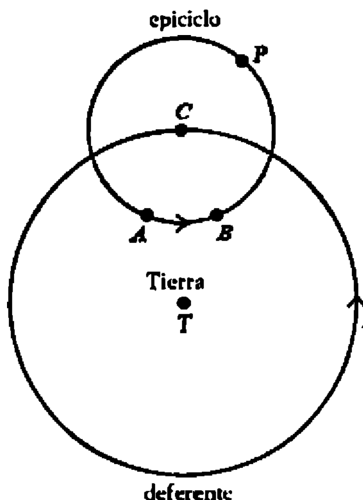
Ptolomeo y los modelos matemáticos

En el siglo II d. C., Claudio Ptolomeo formuló una serie de modelos matemáticos, uno para cada uno de los planetas que entonces se conocían. Un rasgo importante de los modelos es el uso de círculos, epiciclos y deferentes, para reproducir los movimientos aparentes de los planetas respecto del zodíaco. En el modelo de epiciclos y deferentes, el planeta P se mueve a lo largo de un círculo epicíclico, cuyo centro se mueve a lo largo de un círculo deferente alrededor de la Tierra. Ajustando las velocidades de revolución de los puntos P y C, Ptolomeo podía reproducir el movimiento retrógrado periódico observado del planeta. Al pasar de A a B siguiendo el epiciclo, el planeta parece, para un observador sobre la Tierra, seguir la dirección contraria a su movimiento respecto a las estrellas del fondo.

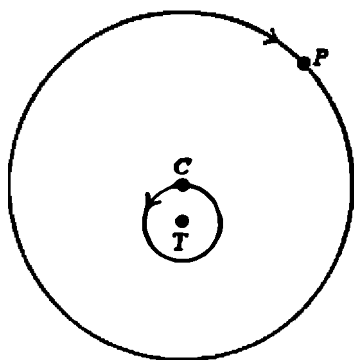
---

[4] Gémino es citado por Simplicio, *Commentary on Aristotle's Physics*, en T. L. Heath, *Aristarchus of Samos* (Oxford: Clarendon Press, 1913), 275-76; reimpreso en *A Source Book in Greek Science*, ed. por M. Cohen y I. E. Drabkin (Nueva York, McGraw-Hill, 1948), 91.

Ptolomeo destacó que era posible construir más de un modelo matemático para salvar las apariencias de los movimientos planetarios. Señaló, en particular, que se puede construir un sistema de movimiento excéntrico que fuese matemáticamente equivalente a un sistema de epiciclos y deferentes dado [5].



Modelo de epiciclos y deferentes



Modelo de movimiento excéntrico

En el modelo de movimiento excéntrico, el planeta *P* se mueve a lo largo de un círculo centrado en un punto excéntrico *C*, el cual se mueve, con dirección opuesta, a lo largo de un círculo con centro en la Tierra *T*. Como los dos modelos son matemáticamente equivalentes, el astrónomo está en libertad de emplear aquel modelo que le sea más conveniente.

Surgió una tradición en astronomía según la cual el astrónomo debía construir modelos matemáticos para salvar las apariencias, pero no debía teorizar sobre los «movimientos reales» de los planetas. Esta tradición debe mucho a la obra de Ptolomeo sobre los movimientos planetarios. El propio Ptolomeo, sin embargo, no defendió consecuentemente esta posición. Insinuaba en el *Almagesto* que sus modelos matemáticos eran sólo artilugios para el cálculo, y no debía entenderse que afirmaba que los planetas describían realmente movi-

[5] Ptolomeo reconoce a Apolonio de Perga (*fl.* 220 a. C.) la primera demostración de esta equivalencia.

mientos epicíclicos en el espacio físico. Pero en una obra posterior, *Hypotheses Planetarum*, afirmó que este complicado sistema de círculos revelaba la estructura de la realidad física.

La dificultad de Ptolomeo para restringir la astronomía a salvar las apariencias tuvo eco en Proclo, un neoplatónico del siglo V. Proclo se quejaba de que los astrónomos habían subvertido el método científico adecuado. En lugar de deducir conclusiones de axiomas evidentes, basándose en el modelo de la geometría, construían hipótesis solamente para acomodarse a los fenómenos. Proclo insistía en que el axioma adecuado para la astronomía es el principio aristotélico de que todo movimiento simple es un movimiento, o bien alrededor del centro del universo, o bien con dirección hacia o desde este centro. Y consideraba la incapacidad de los astrónomos para derivar los movimientos de los planetas de este axioma como indicio de una limitación de la mente humana impuesta por la divinidad.

Capítulo 3

EL IDEAL DE SISTEMATIZACION DEDUCTIVA

Euclides (*c* 300 a. C.), según Proclo, enseñó y fundó una escuela en Alejandría. La más importante de sus obras que ha sobrevivido es *Los Elementos*. No resulta posible decir con cierta seguridad hasta qué punto esta obra fue una codificación del conocimiento geométrico existente y hasta qué punto fue el fruto de una investigación original. Parece probable que, además de establecer la geometría como un sistema deductivo, Euclides construyó una cantidad de pruebas originales.

Arquímedes (287-212 a. C.), hijo de un astrónomo, nació en Siracusa. Se cree que pasó algún tiempo en Alejandría, tal vez estudiando con los sucesores de Euclides. Después de su regreso a Siracusa se dedicó a investigar en las matemáticas puras y aplicadas.

La fama de Arquímedes en la antigüedad derivó en gran manera de sus hazañas como ingeniero militar. Se dijo que catapultas diseñadas por él se usaron eficazmente contra los romanos en el sitio de Siracusa. El propio Arquímedes daba más valor a sus investigaciones abstractas sobre las secciones cónicas, la hidrostática y el equilibrio en que interviene la ley de la palanca. De acuerdo con la leyenda, Arquímedes fue asesinado por los soldados romanos cuando se encontraba examinando un problema geométrico.

Una tesis ampliamente compartida por los escritores antiguos era que la estructura de una ciencia completa debía ser un sistema deductivo de enunciados. Aristóteles había puesto de relieve la deducción de conclusiones a partir de primeros principios. Muchos escritores del final de la Antigüedad creían que el ideal de la sistematización deductiva había sido realizado en la geometría de Euclides y en la estática de Arquímedes.

Euclides y Arquímedes habían formulado sistemas de enunciados —que comprendían axiomas, definiciones y teoremas— organizados de tal manera que la verdad de los teoremas se seguía de la supuesta verdad de los axiomas. Euclides probó que sus axiomas, junto con las definiciones de términos tales como «ángulo» y «triángulo», implican que la suma de los ángulos de un triángulo es igual a dos ángulos rectos. Y Arquímedes probó a partir de sus axiomas de la palanca que dos pesos desiguales se equilibran a distancias del fulcro que son inversamente proporcionales a los pesos.

Tres aspectos del ideal de sistematización deductiva son: 1) que los axiomas y los teoremas estén relacionados deductivamente; 2) que los propios axiomas sean verdades evidentes; y 3) que los teoremas concuerden con las observaciones. Los filósofos de la ciencia han tomado diferentes posturas con respecto a los aspectos segundo y tercero, pero ha habido acuerdo general sobre el primer aspecto

No es posible suscribir el ideal deductivo sin aceptar el requisito de que los teoremas estén deductivamente relacionados con los axiomas. Euclides y Arquímedes emplearon dos importantes técnicas para probar teoremas a partir de sus axiomas: argumentos por *reductio ad absurdum* y un método de exhaución.

La técnica de *reductio ad absurdum* para probar el teorema «*T*» es asumir que «no *T*» es verdadero y deducir entonces a partir de «no *T*» y de los axiomas del sistema un enunciado y su negación. Si se pueden deducir de este modo dos enunciados contradictorios, y si los axiomas del sistema son verdaderos, entonces «*T*» debe ser también verdadero [1].

El método de exhaución es una extensión del método de *reductio ad absurdum*. Consiste en mostrar que cada posible contrario de un teorema tiene consecuencias que son incompatibles con los axiomas del sistema [3].

[1] Arquímedes utilizó un argumento por *reductio ad absurdum* para probar que «los pesos que se equilibran a iguales distancias del fulcro son iguales» («*T*»). Comenzó suponiendo la verdad del enunciado contradictorio de que «los pesos en equilibrio son de diferente magnitud» («no *T*»), y mostró después que «no *T*» es falso, pues tiene implicaciones que contradicen uno de los axiomas del sistema. Porque si «no *T*» fuese verdadero, se podría ir disminuyendo el mayor de los dos pesos hasta que fuesen de igual magnitud. Pero el axioma tres establece que, si se disminuye uno de los dos pesos inicialmente en equilibrio, entonces la palanca se inclina hacia el peso que no se ha disminuido. La palanca ya no estará en equilibrio. Pero esto contradice a «no *T*», estableciéndose con ello «*T*» [2].

[2] T. L. Heath, ed., *The Works of Archimedes* (Nueva York: Dover Publications, 1912), 189-90.

[3] Arquímedes utilizó el método de exhaución para probar que el área de un

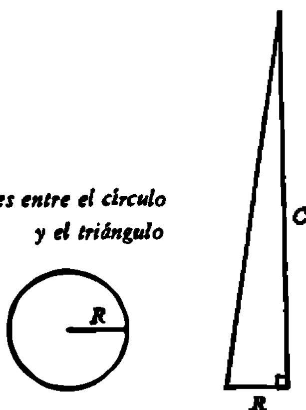
Con respecto al requisito de las relaciones deductivas entre axiomas y teoremas, la geometría de Euclides era deficiente. Euclides dedujo algunos de sus teoremas apelando a la operación de superponer figuras para establecer su congruencia. Pero en los axiomas no aparece referencia alguna a esta operación de superposición. Por tanto, Euclides «probó» algunos de sus teoremas saliéndose del sistema axiomático. La geometría de Euclides fue refundida en una forma rigurosamente deductiva por David Hilbert en la última parte del siglo XIX. En la reformulación de Hilbert, cada uno de los teoremas es una consecuencia deductiva de los axiomas y de las definiciones.

Un segundo aspecto, más controvertido, del ideal de sistematización es el requisito de que los axiomas deben ser en sí mismos verdades evidentes. Este requisito fue claramente enunciado por Aristóteles, quien insistió en que los primeros principios de las ciencias respectivas deben ser verdades necesarias.

El requisito de que los axiomas de los sistemas deductivos sean verdades evidentes era también compatible con el enfoque pitagórico de la filosofía natural. El pitagórico comprometido creía que en la naturaleza existen relaciones matemáticas que pueden ser descubiertas por la razón. Desde este punto de vista, es natural insistir en que los puntos de partida de la sistematización deductiva sean aque-

círculo es igual al área de un triángulo rectángulo cuya base es el radio del círculo y cuya altura es su circunferencia. Arquímedes probó este teorema mostrando que tanto si se supone que el área del círculo es mayor como si se supone que es menor que la del triángulo, aparecen contradicciones en el interior del sistema axiomático de la geometría [4]. Véase el diagrama.

Relación de Arquímedes entre el círculo y el triángulo



[4] Ibid., 91-3.

llas relaciones matemáticas que se ha hallado que subyacen a los fenómenos.

Aquellos que siguieron la tradición de salvar las apariencias en astronomía matemática adoptaron una actitud diferente. Rechazaron el requisito aristotélico. Para salvar las apariencias basta con que las consecuencias deductivas de los axiomas estén de acuerdo con las observaciones. El que los axiomas en sí mismos no sean plausibles, o incluso sean falsos, es irrelevante.

El tercer aspecto del ideal de sistematización deductiva es que el sistema deductivo debe estar en contacto con la realidad. Ciertamente, Euclides y Arquímedes intentaban probar teoremas que tuviesen aplicación práctica. En realidad, Arquímedes fue famoso por su aplicación de las leyes de la palanca a la construcción de catapultas con fines militares.

Pero, para estar en contacto con el reino de la experiencia, es necesario que al menos algunos de los términos del sistema deductivo hagan referencia a objetos y relaciones del mundo. Parece que Euclides, Arquímedes y sus inmediatos sucesores supusieron que términos tales como «punto», «línea», «peso» y «varilla» tienen correlatos empíricos. Arquímedes, por ejemplo, no menciona los problemas que conlleva el dar una interpretación empírica de un teorema sobre la palanca. No hizo comentarios sobre las limitaciones que se han de imponer a la palanca en sí. Sin embargo, los teoremas que él derivó son confirmados experimentalmente sólo por aquellas varillas que no se doblan de modo apreciable y que tienen el peso distribuido de manera uniforme. Los teoremas de Arquímedes se aplican de modo estricto únicamente a «palancas ideales», las cuales, en principio, no pueden darse en la experiencia, es decir, varillas infinitamente rígidas, pero sin masa.

Puede ser que la preocupación de Arquímedes por las leyes aplicables a esta «palanca ideal» refleje una tradición filosófica en la cual se establece un contraste entre las complejidades inmanejables de los fenómenos y la pureza intemporal de las relaciones formales. Esta tradición se vio a menudo reforzada por la opinión ontológica de que el reino de los fenómenos es, en el mejor de los casos, una «imitación» o un «reflejo» del «mundo real». La responsabilidad principal por la promulgación de este punto de vista recae sobre Platón y sus intérpretes. Este dualismo tuvo importantes repercusiones en el pensamiento de Galileo y de Descartes.

Capítulo 4

EL ATOMISMO Y EL CONCEPTO DE MECANISMO SUBYACENTE

Como se ha señalado anteriormente, algunos seguidores de Platón interpretaban el mundo como un reflejo imperfecto de una realidad subyacente. Los atomistas Demócrito y Leucipo sugirieron una discontinuidad más radical. Para los atomistas, la relación entre apariencia y realidad no era la que se da entre un original y una copia imperfecta; en lugar de esto, creían que los objetos y relaciones del «mundo real» eran *de tipo diferente* de los del mundo que nos dan a conocer nuestros sentidos.

Lo que es real, de acuerdo con los atomistas, es el movimiento de los átomos a través del vacío. Es este movimiento de los átomos lo que motiva nuestra experiencia perceptual de los colores, olores y sabores. Si no hubiese tales movimientos, no existiría la experiencia perceptual. Más aún, los átomos en sí mismos tienen sólo las propiedades de tamaño, forma, impenetrabilidad y movimiento, y la propensión a combinarse y asociarse de diversos modos. Al contrario que los cuerpos macroscópicos, los átomos no pueden atravesarse ni dividirse.

Los atomistas atribuían los cambios fenoménicos a la asociación y disociación de átomos. Por ejemplo, atribuían el sabor salado de algunos alimentos a la colocación irregular de átomos grandes y puntiagudos; y la capacidad del fuego para penetrar en los cuerpos a movimientos rápidos de los pequeños y esféricos átomos del fuego [1].

---

[1] G. S. Kirk y J. E. Raven, *The Presocratic Philosophers* (Cambridge: Cambridge University Press, 1962), 420-23. [Ed. cast., *Los filósofos presocráticos;* Madrid, Gredos, 1970 (trad. por J. García Fernández).]

Varios aspectos del programa de los atomistas han sido importantes para el desarrollo de puntos de vista posteriores sobre el método científico. Un aspecto influyente del atomismo es la idea de que los cambios observados pueden ser explicados haciendo referencia a procesos que tienen lugar en un nivel de organización más elemental. Esto llegó a ser un artículo de fe para muchos filósofos naturales del siglo XVII. Gassendi, Boyle y Newton, entre otros, afirmaron que los cambios macroscópicos son causados por cambios sub-macroscópicos.

Además, los antiguos atomistas se dieron cuenta, al menos tácitamente, de que no se pueden explicar las cualidades y procesos de un nivel por el mero hecho de postular que las mismas cualidades y procesos se hallan presentes en un nivel más profundo. Por ejemplo, no se pueden explicar adecuadamente los colores de los objetos atribuyendo los colores a la presencia de átomos coloreados.

Otro aspecto importante del programa de los atomistas es la reducción de los cambios cualitativos del nivel macroscópico a cambios cuantitativos en el nivel atómico. Los atomistas estaban de acuerdo con Pitágoras en que la explicación científica debe darse en términos de relaciones geométricas y numéricas.

Dos factores pesaron en contra de una aceptación amplia de la versión clásica del atomismo. El primer factor fue el materialismo intransigente de esta filosofía. Al explicar la percepción e incluso el pensamiento en términos de movimientos de átomos, los atomistas recusaban la propia autoconciencia del hombre. El atomismo parecía no dejar lugar para los valores espirituales. Es seguro que los valores de la amistad, el valor y la veneración no pueden reducirse a un concurso de átomos. Además, los atomistas no dejan lugar dentro de la ciencia a consideraciones sobre propósitos, ya sean naturales o divinos.

El segundo factor fue el carácter *ad hoc* de las explicaciones de los atomistas. Ofrecían una imagen de preferencia, un modo de considerar los fenómenos, pero no había modo de comprobar lo adecuado de la imagen. Consideremos la disolución de la sal en el agua. El argumento más fuerte ofrecido por los atomistas clásicos fue que el efecto *podría estar* producido por la dispersión de los átomos de sal en el líquido. Sin embargo, los atomistas clásicos no podían explicar por qué la sal se disuelve en el agua mientras que la arena no lo hace. Por supuesto, podían decir que los átomos de sal se ajustaban a los intersticios que hay entre los átomos de agua mientras que los átomos de arena no lo hacían. Pero los críticos del atomismo rechazarían esta «explicación» como meramente otro modo de decir que la sal se disuelve en agua mientras que la arena no lo hace.

Capítulo 5

AFIRMACION Y DESARROLLO DEL METODO DE ARISTOTELES EN EL PERIODO MEDIEVAL

ROBERT GROSSETESTE (*c.* 1168-1253) fue estudiante y profesor en Oxford y llegó a ser una jerarquía eclesiástica. Fue Canciller de la Universidad de Oxford (1215-21) y desde 1224 actuó como lector de filosofía en la orden franciscana. Grosseteste fue el primer estudioso medieval que analizó los problemas de la inducción y de la verificación. Escribió comentarios sobre los *Segundos Analíticos* y sobre la *Física* de Aristóteles, preparó traducciones del *De Caelo* y de la *Etica a Nicómaco*, y compuso tratados sobre la reforma del calendario, sobre óptica, sobre el calor y sobre el sonido. Desarrolló una «metafísica de la luz» neoplatónica en la que el agente causal era la multiplicación y la difusión esférica centrífuga de «especies», basada en una analogía de la propagación de la luz. Grosseteste llegó a ser obispo de Lincoln en 1235 y reo ientó sus conside ables energías de modo que abarcasen la administración eclesiástica.

ROGER BACON (*c.* 1214-1292) estudió en Oxford y después en París, donde enseñó y escribió análisis de varias obras aristotélicas. En 1247 volvió a Oxford, donde estudió diversos idiomas y ciencias, poniendo especial énfasis en la óptica. El Papa Clemente IV, al enterarse de la propuesta de Bacon de unificación de las ciencias al servicio de la teología, solicitó una copia de la obra de Bacon. Bacon aún no había puesto por escrito sus opiniones, pero rápidamente compuso y envió al Papa la *Opus Majus* y dos obras más (1268). Desgraciadamente, el Papa murió antes de haber juzgado la contribución de Bacon.

Parece ser que Bacon se indispuso son sus superio es de la orden franciscana, debido a sus duras críticas de las capacidades intelectuales de sus colegas. Además, su entusiasmo por la alquimia, la astrología y el apocalipticismo de Joaquín de Flo is le hicieron sospechoso. Es probable, aunque no está fuera de dudas, que pasase varios de sus últimos años en prisión.

JUAN DUNS ESCOTO (*c.* 1265-1308) ingresó en la orden franciscana en 1280 y fue ordenado sacerdote en 1291. Estudió en Oxford y en París, donde recibió

el doctorado en teología en 1305, a pesar de ser desterrado de París durante algún tiempo por no haber apoyado al rey en una disputa con el Papa sobre la tributación de las tierras de la Iglesia. Junto con muc os otros autores medievales, Duns Escoto buscó la asimilación de la filosofía de Aristóteles a la doctrina cristiana.

GUILLERMO DE OCCAM (*c.* 1280-1349) estudió y enseñó en Oxford. Pronto se convirtió en un foco de controversia en el seno de la Iglesia. Atacó la pretensión del Papa a la supremacía temporal, insistiendo en la independencia divinamente decretada de la autoridad civil. Apeló a las manifestaciones anteriores del Papa Nicolás III en una disputa con el Papa Juan XXII acerca de la pobreza apostólica. Y defendió la posición nominalista de que los universales tienen valor objetivo sólo en la medida en que están presentes en la mente. Occam se refugió durante un tiempo en Bavie a mientras sus escritos eran sometidos a examen en Aviñón. Sin embargo, no tuvo lugar una condena formal.

NICOLÁS DE AUTRECOURT (*c.* 1300-después de 1350) estudió y dio clases en la Universidad de París, donde desarrolló una crítica de las doctrinas predominantes de la sustancia y la causalidad. En 1346 fue condenado por la Curia de Aviñón a que sus escritos fuesen quemados y a retractarse de ciertas doctrinas condenadas ante el claustro de la Universidad de París. Nicolás cumplió la sentencia, y, bastante curiosamente, fue nombrado después diácono de la catedral de Metz (1350).

Antes de 1150, Aristóteles era conocido por los estudiosos del Occidente latino principalmente como lógico. Se creía que Platón era el filósofo de la naturaleza más importante. Pero a partir de 1150 los escritos de Aristóteles sobre la ciencia y el método científico comenzaron a traducirse al latín de fuentes árabes y griegas. Surgieron centros de traducción en España y en Italia. Alrededor de 1270, el amplio *corpus* aristotélico había sido traducido al latín. La influencia de este logro sobre la vida intelectual de Occidente fue realmente muy grande. Los escritos de Aristóteles sobre la ciencia y el método científico proporcionaron a los estudiosos cantidad de nuevas perspectivas. Hasta tal punto esto fue así, que durante varias generaciones la presentación normal de un trabajo sobre una ciencia determinada tomaba la forma de un comentario de la correspondiente obra de Aristóteles.

La obra más importante de Aristóteles sobre filosofía de la ciencia es los *Segundos Analíticos*, obra de la que los estudiosos pudieron disponer en la última parte del siglo XII. Durante los tres siglos siguientes, los que escribían sobre el método científico abordaban los problemas que había formulado Aristóteles. En particular, los comentaristas medievales discutían y criticaban la opinión de Aristóteles sobre el procedimiento científico, su posición sobre la evaluación de explicaciones rivales y su afirmación de que el conocimiento científico es necesariamente verdadero.

El patrón inductivo-deductivo de la investigación científica

Robert Grosseteste y Roger Bacon, los dos autores de obras acerca del método científico más influyentes del siglo XIII, afirmaron el patrón aristotélico inductivo-deductivo de la investigación científica. Grosseteste se refería a la etapa inductiva como a una «resolución» de fenómenos en sus elementos constituyentes, y a la etapa deductiva como una «composición» en la que estos elementos se combinan para reconstruir los fenómenos originales [1]. Los escritores posteriores se refirieron con frecuencia a la teoría de Aristóteles sobre el procedimiento científico como al «Método de Resolución y Composición».

Grosseteste aplicó la teoría aristotélica del procedimiento al problema de los colores espectrales. Señaló que los espectros que se ven en el arco iris, en las salpicaduras que producen las ruedas de molinos y los remos de las barcas y los espectros producidos al pasar la luz solar por esferas de vidrio llenas de agua, comparten ciertas características comunes. Procediendo por inducción, «resolvió» tres elementos que eran comunes a todos los casos. Estos elementos son: 1) que los espectros están asociados a esferas transparentes; 2) que los diferentes colores son el resultado de la refracción de la luz según diferentes ángulos, y 3) que los colores que se producen forman un arco de circunferencia. A partir de estos tres elementos, era capaz de «componer» los rasgos generales de este tipo de fenómenos [2].

Roger Bacon: «Segunda prerrogativa» de la ciencia experimental

El método de resolución de Grosseteste especifica un ascenso inductivo desde enunciados sobre fenómenos hasta elementos a partir de los cuales pueden reconstruirse los fenómenos. El discípulo de Grosseteste, Roger Bacon, recalcó que el éxito de la aplicación de este procedimiento inductivo depende de un conocimiento factual exacto y extenso. Bacon sugirió que la base factual de la ciencia puede a menudo ser aumentada mediante la experimentación activa. El uso de la experimentación para aumentar el conocimiento de los fenómenos es la segunda de las «tres prerrogativas de la ciencia experimental» [3] de Bacon.

---

1 A. C. Crombie, *Robert Grosseteste and the Origins of Experimental Science (1100-1700)* (Oxford: Clarendon Press, 1953), 52-66.

2 Ibid., 64-6.

3 Roger Bacon, *The Opus Majus*, trad. por Robert B. Burke (Nueva York: Russell and Russell, 1962), vol. II, 615-16.

Bacon alabó a cierto «maestro de la experimentación» cuya obra constituía una realización de la segunda prerrogativa. El individuo citado era probablemente Pedro de Maricourt [4]. Pedro había demostrado, entre otras cosas, que, cuando se rompe una varilla magnética en dos trozos, se consiguen dos nuevos imanes, cada uno de ellos con su polo norte y su polo sur. Bacon destacó que descubrimientos como este aumentaban la base observacional a partir de la cual se pueden inducir los elementos del magnetismo.

Si Bacon hubiera limitado sus alabanzas de la experimentación a este tipo de investigación, hubiese merecido el ser reconocido como uno de los campeones de la investigación experimental. Sin embargo, era frecuente que Bacon colocase la experimentación al servicio de la alquimia, y que hiciese extravagantes e infundadas afirmaciones sobre los resultados de los experimentos alquímicos. Declaró, por ejemplo, que un triunfo de la «Ciencia experimental» era el descubrimiento de una sustancia que quitaba las impurezas a los metales de tal modo que se conseguía oro puro [5].

Los métodos inductivos del acuerdo y de la diferencia

Aristóteles había insistido en que los principios explicativos debían inducirse de las observaciones. Una importante contribución de los estudiosos medievales fue desarrollar nuevas técnicas inductivas para el descubrimiento de principios explicativos.

Robert Grosseteste, por ejemplo, sugirió que un buen modo de determinar si una hierba determinada tenía efecto purgante era examinar numerosos casos en los que se administrase la hierba en condiciones en las que no estuviesen presentes otros agentes purgantes [6]. Sería difícil llevar a la práctica esta prueba, y no existen testimonios de que Grosseteste intentara hacerlo, pero debe recibir el crédito de haber esbozado un procedimiento inductivo que siglos más tarde habría de conocerse como el «Método conjunto de Mill del acuerdo y la diferencia».

En el siglo XIV, Juan Duns Escoto desarrolló un método inductivo del acuerdo, y Guillermo de Occam desarrolló un método inductivo de la diferencia. Ellos consideraron estos métodos como ayudas para la «resolución» de fenómenos. Como tales, se trata de procedimientos pensados para completar los procedimientos inductivos que había tratado Aristóteles.

---

[4] Véase, por ejemplo, A. C. Crombie, *Robert Grosseteste*, 204-10.

[5] Roger Bacon, *The Opus Majus*, II, 626-27.

[6] A. C. Crombie, *Robert Grosseteste*, 73-4.

El método del acuerdo de Duns Escoto. El método del acuerdo de Duns Escoto es una técnica para analizar un número de casos en los que ocurre un determinado efecto. El procedimiento consiste en numerar las distintas circunstancias que están presentes cada vez que acontece el efecto, y en buscar una circunstancia que esté presente en todos los casos [7]. Duns Escoto mantenía que, si una enumeración de las circunstancias tuviese la forma

Caso	*Circunstancias*	*Efecto*
1	*ABCD*	*e*
2	*ACE*	*e*
3	*ABEF*	*e*
4	*ADF*	*e*

entonces el investigador estaría autorizado a concluir que *e* puede ser el efecto de la causa *A*.

Los méritos que Duns Escoto asignaba a su Método del Acuerdo eran muy modestos. Sostenía que lo único que podía establecerse mediante una aplicación del método es una «unión disposicional» entre un efecto y una circunstancia concomitante. Aplicando el esquema, un científico puede concluir, por ejemplo, que la Luna es un cuerpo que *puede ser* eclipsado, o que cierto tipo de hierba *puede tener* un gusto amargo [8]. Pero la aplicación del esquema por sí sola no puede establecer que la Luna deba eclipsarse necesariamente ni que cualquier muestra de la hierba sea necesariamente amarga.

Paradójicamente, Duns Escoto aumentó el Método de Resolución al tiempo que socavó la confianza en las correlaciones inductivamente establecidas. Sus convicciones teológicas fueron las responsables de esto último. Insistía en que Dios podía llevar a cabo cualquier cosa que no encerrase contradicción, y que las uniformidades de la naturaleza existían sólo por indulgencia divina. Más aún, Dios podía, si lo desease, provocar una interrupción en una regularidad y producir directamente un efecto sin la presencia de la causa usual. Es por esta razón por la que Duns Escoto sostenía que el Método del Acuerdo sólo puede establecer uniones disposicionales dentro de la experiencia.

Método de la diferencia de Guillermo de Occam. El énfasis sobre la omnipotencia de Dios es todavía más pronunciado en los escritos de Guillermo de Occam. Occam insistió repetidamente en que

[7] *Duns Scotus: Philosophical Writings*, trad. y ed. por Allan Wolter (Edimburgo: Thomas Nelson, 1962), 109.
[8] Ibid., 110-11.

Dios puede llevar a cabo cualquier cosa que se pueda hacer sin caer en contradicción. De acuerdo con Duns Escoto, mantenía que el científico, mediante la inducción, solamente puede establecer uniones disposicionales entre los fenómenos.

Occam formuló un procedimiento para extraer conclusiones acerca de las uniones disposicionales siguiendo un Método de la Diferencia. El método de Occam consiste en comparar dos casos: un caso en que el efecto está presente, y un segundo caso en que el efecto no está presente. Si se puede mostrar que existe una circunstancia que está presente cuando el efecto está presente, y ausente cuando el efecto está ausente, v. g.,

Caso	*Circunstancias*	*Efecto*
1	*ABC*	*e*
2	*AB*	—

entonces el investigador está autorizado a concluir que la circunstancia C *puede ser* la causa del efecto *e*.

Occam mantenía que, en el caso ideal, el conocimiento de una unión disposicional podía establecerse sobre la base de solamente una asociación observada. Señalaba, sin embargo, que en un caso así se debe estar seguro de que todas las demás causas posibles del efecto en cuestión no están presentes. Observó que, en la práctica, es difícil determinar si dos conjuntos de circunstancias difieren sólo en un aspecto. Por esta razón, instaba a investigar muchos casos, con el fin de minimizar la posibilidad de que un factor no localizado sea el responsable de la aparición del efecto[9].

Evaluación de explicaciones rivales

Grosseteste y Roger Bacon, además de reestablecer el patrón inductivo-deductivo Aristotélico de la investigación científica, hicieron también contribuciones originales al problema de la evaluación de explicaciones rivales. Se dieron cuenta de que un enunciado acerca de un efecto puede deducirse de más de un conjunto de premisas. También Aristóteles había sido consciente de esto, y había insistido en que las explicaciones científicas genuinas establecen relaciones causales.

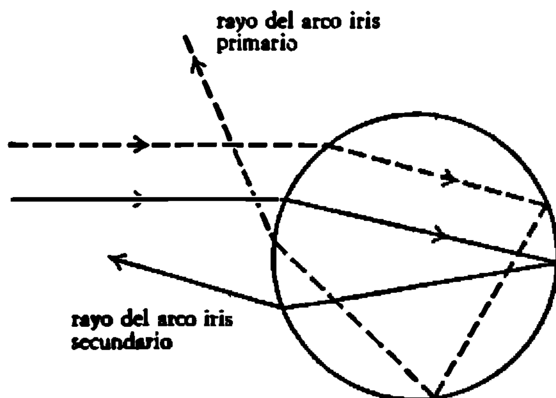
---

[9] Véase, por ejemplo, Julius R. Weinberg, *Abstraction, Relation and Induction* (Madison: The University of Wisconsin Press, 1965), 145-47.

Roger Bacon: «Primera Prerrogativa» de la ciencia experimental

Tanto Grosseteste como Bacon recomendaron añadir una tercera etapa de investigación al procedimiento inductivo-deductivo de Aristóteles. En esta tercera etapa de la investigación, los principios inducidos por «resolución» se someten a la contrastación con la experiencia posterior. Bacon llamaba a este procedimiento de contrastación la «primera prerrogativa» de la ciencia experimental [10]. Esta fue una valiosa idea metodológica, y constituyó un gran avance sobre la teoría aristotélica del procedimiento. Aristóteles se contentaba con deducir enunciados acerca de los mismos fenómenos que sirven como puntos de partida de la investigación. Grosseteste y Bacon reclamaron una contrastación experimental posterior de los principios alcanzados por inducción.

A comienzos del siglo XIV, Teodorico de Freiberg hizo una sorprendente aplicación de la primera prerrogativa de Bacon. Teodorico creía que el arco iris está causado por una combinación de la refracción y de la reflexión de la luz del sol por gotas de lluvia individuales. Con el fin de contrastar esta hipótesis, llenó de agua unas esferas huecas cristalinas y las situó en el camino de los rayos del sol. Con estos modelos de gotas, reproducía tanto arcos iris primarios como secundarios. Teodorico demostró que los arcos iris secundarios reproducidos tenían invertido el orden de los colores, y que el ángulo formado por los rayos incidente y emergente de los arco iris secundarios era once grados mayor que el de los primarios. Esto se ajusta



Modelo de la gota de agua de Teodorico

---

[10] Roger Bacon, *The Opus Majus*, II, 587.

bastante a lo que se observa en los arco iris que aparecen en la naturaleza [11].

Desgraciadamente, Grosseteste y Bacon ignoraron con frecuencia su propio consejo. Bacon, en particular, apelaba a menudo a consideraciones *a priori* y a la autoridad de escritores anteriores, en lugar de apelar a contrastaciones experimentales adicionales. Por ejemplo, después de declarar que la ciencia experimental es admirablemente adecuada para establecer conclusiones acerca de la naturaleza del arco iris, Bacon insistió en que debía haber exactamente cinco colores en el arco iris, debido a que el número cinco es el número ideal para explicar una variación en las cualidades [12].

El método de la falsación de Grosseteste

Grosseteste señaló que si un enunciado acerca de un efecto puede deducirse de más de un conjunto de premisas, entonces el mejor enfoque es eliminar todas las explicaciones menos una. Mantenía que si una hipótesis implica ciertas consecuencias, y si se puede mostrar que estas consecuencias son falsas, entonces la propia hipótesis debe ser falsa. Los lógicos han dado el nombre de «*modus tollens*» a este tipo de argumento deductivo:

$$\frac{\begin{array}{c}\text{Si } H\text{, entonces } C\\ \text{no } C\end{array}}{\text{no } H}$$

Dado un grupo de hipótesis, cada una de las cuales pueda usarse como premisa para deducir un efecto dado, tal vez sea posible eliminar todas las hipótesis menos una mediante argumentos de la forma *modus tollens*. Para hacer esto, se tiene que mostrar que todas las hipótesis menos una implican *otras* consecuencias que se sabe que son falsas.

Grosseteste aplicó el Método de la falsación para apoyar una hipótesis acerca de la generación del calor solar. Según Grosseteste son tres los modos de generar calor: por conducción desde un cuerpo caliente, «por movimiento» y por una concentración de rayos. El pensaba que el sol genera calor por concentración de rayos, y trató de excluir las otras dos posibilidades mediante argumentos de la forma

[11] Véase A. C. Crombie, *Robert Grosseteste*, 233-59; W. A. Wallace, *The Scientific Methodology of Theodoric of Freiberg* (Friburgo: Fribourg University Press, 1959).

[12] Roger Bacon, *The Opus Majus*, II, 611.

modus tollens. «Falsó» la hipótesis de la conducción mediante el siguiente argumento:

> Si el Sol genera calor por conducción,
> entonces la materia celeste adyacente se calienta
> y sufre un cambio de cualidad.
>
> Pero la materia celeste adyacente es inmutable
> y no sufre cambios de cualidad.
>
> ---
>
> Por lo tanto, el Sol no genera calor por conducción [13].

Este argumento tiene la forma *modus tollens,* y por tanto es válido; si sus premisas son verdaderas, entonces su conclusión debe ser también verdadera. Sin embargo, la segunda premisa, que afirma la inmutabilidad de la materia celeste adyacente, es falsa. El argumento de Grosseteste no prueba la falsedad de la hipótesis de la conducción. Y su argumento para refutar la hipótesis del movimiento falla por una razón parecida [14].

Gosseteste no fue el primer estudioso en usar argumentos de la forma *modus tollens* para falsar hipótesis rivales. Los filósofos y matemáticos habían hecho uso de esta técnica desde la época de Euclides [15]. El logro de Grosseteste fue la aplicación sistemática de esta técnica para completar los procedimientos de evaluación de Aristóteles para las hipótesis científicas.

A pesar del hecho de que muchas de las aplicaciones que hizo Grosseteste de los argumentos de la forma *modus tollens* no son convincentes a la luz del conocimiento científico actual, el método de la falsación en sí tuvo una amplia influencia. El estudioso del si-

---

13 A. C. Crombie, «Grosseteste's Position in the History of Science», en *Robert Grosseteste,* ed. por D. A. Callus (Oxford: Clarendon Press, 1955), 118.

14 Ibid., 118-19.

15 Un ejemplo es la prueba de Euclides de que no existe un número primo mayor que todo otro número primo. Euclides comenzó suponiendo lo contradictorio: que existe un número primo mayor que todos, representándolo por N. Entonces construyó el número

$$N' = (2 \times 3 \times 5 \times 7 \times 11 \times \ldots N) + 1,$$

en el que el producto encerrado en el paréntesis incluye todos los números primos hasta N y al propio N. Después formó el siguiente argumento de la forma *modus tollens:*

> Si N es el número primo más grande, entonces N' (que es mayor que N) no es un número primo.
> Pero N' es un número primo (dado que la división de N' por cualquier número primo arroja 1 como resto.
>
> ---
>
> Por consiguiente, N no es el mayor número primo [16].

16 Euclides, *Los Elementos,* Libro IX, Proposición 20 [ed. cast. en *Obras completas;* México, U.N.A.M., 1944 (trad. por J. D. García Bacca)].

glo XIV Juan Buridán, por ejemplo, utilizó un argumento de la forma *modus tollens* para falsar una hipótesis acerca del movimiento de los proyectiles que había sido mencionada, pero no defendida, por Aristóteles. En esta hipótesis, el aire que se encuentra delante del cuerpo proyectado se precipita a la parte de atrás para evitar el vacío, empujando de esa manera el proyectil. Buridán señaló que si esta hipótesis fuera verdadera, entonces un proyectil con el extremo posterior romo debía moverse más rápido que otro con los dos extremos puntiagudos. Insistía en que un proyectil con el extremo posterior romo no se movía más rápido, aunque no afirmó que hubiera realizado experimentos con ambos tipos de proyectiles [17].

La «navaja» de Occam

Un gran número de escritores medievales defendieron el principio de que la naturaleza siempre elige el camino más simple. Grosseteste, por ejemplo, mantenía que el ángulo de refracción debe ser la mitad del ángulo de incidencia en el caso de un rayo de luz que pasa a un medio más denso. Pensaba que debía darse esta razón de 1:2 debido a que la naturaleza discurre por el curso más sencillo y a que la razón 1:1 no está disponible, pues gobierna la reflexión [18].

Guillermo de Occam se opuso a esta tendencia a ver en la naturaleza las ideas humanas sobre la simplicidad. Le parecía que insistir en que la naturaleza seguía siempre el camino más senci lo es limitar el poder de Dios. Dios muy bien podría haber elegido el producir efectos del modo más complicado.

Por esta razón, Occam trasladó el énfasis sobre la simplicidad del curso de la naturaleza a las teorías que se formulan acerca de ella. Occam utilizó la simplicidad como un criterio de formación de conceptos y de construcción de teorías. Sostenía que han de eliminarse los conceptos superfluos, y sugería que entre dos teorías que diesen cuenta de un tipo de fenómenos debía preferirse la más simple. Los escritores posteriores se refirieron a menudo a este principio metodológico como la «navaja de Occam».

Occam uti izó su navaja en los debates medievales sobre el movimiento de los proyectiles. Una opinión era que el movimiento del proyectil era causado por un «*impetus*» que reside de algún modo en el proyectil mientras dura el movimiento. Occam sostenía que el de *impetus* es un concepto superfluo. Según Occam, un enunciado

---

[17] John Buridan, *Questions on the Eight Books of the Physics of Aristotle*, Libro VIII, Cuestión 12, reimpreso en M. Clagett, *The Science of Mechanics in the Middle Ages* (Madison: University of Wisconsin Press, 1959), 533.

[18] A. C. Crombie, *Robert Grosseteste*, 119-24.

acerca del «movimiento de un cuerpo» es el resumen de una serie de enunciados que atribuyen al cuerpo distintas posiciones en tiempos distintos. Y el movimiento no es una propiedad de un cuerpo, sino una relación que el cuerpo mantiene con otros cuerpos y con el tiempo. Dado que el cambio de posición no es una «propiedad» de un cuerpo, no hay necesidad de asignar una causa eficiente a su desplazamiento relativo. Occam mantenía que decir «un cuerpo se mueve debido a un *impetus* adquirido» no supone decir más que «un cuerpo se mueve», y recomendaba la eliminación de la física del concepto de *impetus* [19].

La controversia acerca de la verdad necesaria

Aristóteles había insistido en que, debido a que una «necesidad natural» ordena las relaciones entre las especies y géneros de objetos y acontecimientos, la expresión verbal apropiada de estas relaciones debe tener el rango de verdad necesaria. De acuerdo con Aristóteles, los primeros principios de las ciencias no son meramente verdades contingentes. No pueden ser falsos, pues reflejan relaciones de la naturaleza que no podrían ser otras que las que son.

Un importante desarrollo del siglo XIV en filosofía de la ciencia fue una reevaluación del rango cognoscitivo de las interpretaciones científicas. Juan Duns Escoto, Guillermo de Occam y Nicolás de Autrecourt, entre otros, buscaron determinar qué tipos de enunciado, si es que hay algunos, son verdades necesarias. Su punto de partida fue la posición de Aristóteles de que los primeros principios de las ciencias son evidentes, representaciones necesarias del modo en que las cosas son.

Duns Escoto y la «unión disposicional» de los fenómenos

Duns Escoto insistió en una distinción entre el origen de los primeros principios y la justificación de su rango como verdades necesarias. Coincidía con Aristóteles en que el conocimiento de los primeros principios surge de la experiencia sensible, pero añadía que el carácter necesario de estos principios es independiente de la verdad de las afirmaciones sobre la experiencia sensible. Según Duns Escoto, la experiencia sensible proporciona ocasiones para reconocer la verdad de un primer principio, pero no constituye una prueba de esta

[19] Guillermo de Occam, *Summulae in Phys.*, III, 5-7, en *Ockham Studies and Selections*, trad. y ed. por S. C. Tornay (La Salle, Ill.: Open Court Publishing Co., 1938), 170-71.

verdad. Un primer principio es verdadero en virtud de los significados de sus términos constituyentes. Esto es así a pesar del hecho de que es de la experiencia de la que aprendemos el significado de estos términos [20]. Por ejemplo, que «los cuerpos opacos producen sombra» es evidente para cualquiera que comprenda los significados de los términos «opaco», «producir» y «sombra». Más aún, este principio es una verdad necesaria. Negarlo es formular una autocontradicción. Duns Escoto sostenía que ni siquiera Dios podría conseguir que una autocontradicción tomase forma en el mundo.

Duns Escoto sostenía que hay dos tipos de generalizaciones científicas que son verdades necesarias: los primeros principios y sus consecuencias deductivas, y los enunciados sobre uniones disposicionales de fenómenos. Por el contrario, sostenía que las generalizaciones empíricas son verdades contingentes. Por ejemplo, es una verdad necesaria el que todos los cuervos *pueden ser* negros, pero el que todos los cuervos examinados hayan sido negros es sólo una cuestión de hecho contingente.

Por supuesto, el científico no puede quedar contento con el conocimiento de uniones disposicionales de fenómenos. Decir que los cuervos *pueden ser* negros o que la Luna *puede ser* eclipsada es decir relativamente poco sobre los cuervos y sobre la Luna. Duns Escoto se daba cuenta de esto. Recomendaba que, donde fuese posible, se dedujesen las generalizaciones de los primeros principios. Los dos ejemplos anteriores difieren a este respecto. El que la Luna sea un cuerpo que sufre eclipses con frecuencia puede deducirse de los primeros principios de que los cuerpos opacos producen sombra y de que la Tierra es un cuerpo opaco que se interpone con frecuencia entre el Sol luminoso y la Luna. No existe una derivación de este tipo para el caso de los cuervos negros.

Nicolás de Autrecourt y la verdad necesaria como aquella que se ajusta al principio de no contradicción

Nicolás de Autrecourt restringió el ámbito del conocimiento cierto más severamente que Duns Escoto. El análisis de Nicolás fue la culminación de la erosión que en el siglo XIV sufrió la confianza en lo que podía ser conocido como verdad necesaria.

Nicolás resolvió aceptar como verdades necesarias sólo aquellos juicios que satisfacen el principio de no contradicción. Siguiendo a Aristóteles, proclamó que el principio primario para el razonamiento es que dos cosas contradictorias no pueden ser a la vez verdaderas.

---

[20] *Duns Scotus: Philosophical Writings*, 106-09.

Pero aunque Aristóteles estableció que el principio de no contradicción es el principio último de toda demostración, también reconoció que no pueden deducirse conclusiones acerca de los fenómenos físicos o biológicos a partir de este solo principio. De ahí que Aristóteles incluyera entre los primeros principios de la demostración tanto los principios lógicos generales, las leyes de la identidad, no contradicción y del tercero excluido, como los primeros principios propios de las ciencias respectivas.

Nicolás, sin embargo, rehusó conceder certeza a los primeros principios de las ciencias, establecidos inductivamente, ya sea que estos principios establezcan relaciones causales o meras uniones disposicionales de fenómenos. Restringió el conocimiento cierto al principio de no contradicción y a aquellos enunciados y argumentos que se «conforman» a él. Sólo permitía como excepciones los artículos de la fe[21].

Nicolás insistió en que toda demostración científica debía conformarse al principio de que todo enunciado de la forma «*A* y no *A*» es necesariamente falso. Según Nicolás, un argumento se «conforma» al principio de no contradicción si, y sólo si, la conjunción de sus premisas con la negación de su conclusión

$$«(P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot \ldots P_n) \cdot \sim C»$$

es una contradicción[22]. Los lógicos actuales aceptan este requisito como una condición necesaria y suficiente de validez deductiva.

Nicolás mantenía que todo argumento válido es reducible al principio de no contradicción, sea de forma inmediata o mediata. La reducción es inmediata si la conclusión es idéntica a las premisas o a una parte de las premisas. Por ejemplo, es inmediatamente evidente que argumentos de la forma $\frac{A}{\therefore A}$ y $\frac{A \cdot B \cdot C}{\therefore A}$ satisfacen el principio de no contradicción. La reducción es mediata en el caso de los argumentos silogísticos. Por ejemplo, dado el silogismo

P1— Todos los cuadriláteros son polígonos.
P2— Todos los cuadrados son cuadriláteros.

C — ∴Todos los cuadrados son polígonos.

---

[21] Nicolás de Autrecourt, «Second letter to Bernard of Arezzo», en *Medieval Philosophy*, ed. por H. Shapiro (Nueva York: The Modern Library, 1964), 516-20.

[22] El símbolo «·» representa al castellano «y» en conjunciones de la forma «*p* y *q*», donde *p* y *q* son enunciados individuales. La expresión «∼*p*» representa a la frase castellana «es falso que *p*».

La negación de la conclusión es incompatible con la conjunción de las premisas. Sin embargo, no es inmediatamente evidente que el enunciado «$(P_1 \cdot P_2) \cdot \sim C$» sea una autocontradicción. El enunciado es una autocontradicción debido únicamente a que «$(P_1 \cdot P_2)$» implica «C».

Sobre la base de este análisis de la naturaleza de los argumentos deductivos, Nicolás negó que pudiera conseguirse un conocimiento necesario de las relaciones causales. Señaló que no podía deducirse información alguna de un conjunto de premisas que no fuera la información implicada por, o «contenida en», las premisas. A este respecto, los argumentos deductivos son como los exprimidores de naranjas; no se puede extraer más zumo del que está inicialmente presente en las naranjas. Pero dado que una causa es algo distinto de su efecto, no se puede deducir un enunciado acerca de un efecto a partir de enunciados sobre su supuesta causa. Nicolás insistió en que no es posible deducir que, porque un fenómeno particular ha sucedido, debe ir acompañado por, o seguido de, algún otro fenómeno.

Nicolás argüía, por otra parte, que no es posible conseguir un conocimiento necesario de las relaciones causales mediante la aplicación del Método del Acuerdo. Insistió en que no puede establecerse que una correlación cuya vigencia se ha observado deba continuar manteniéndose en el futuro [23]. Duns Escoto, por supuesto, podría haber aceptado la crítica de Nicolás sin abandonar su propia posición, ya que pretendía establecer sólo uniones disposicionales entre dos tipos de fenómenos.

La conclusión del análisis de Nicolás es que no se puede conseguir conocimiento necesario de las relaciones causales. Los enunciados acerca de las causas no implican enunciados acerca de los efectos, y los argumentos inductivos no prueban que deba mantenerse una correlación observada.

Nicolás expresó su esperanza de que su crítica de lo que se podía conocer con certeza se pusiese al servicio de la fe cristiana. Notaba con desaprobación que los estudiosos gastaban vidas enteras en el estudio de Aristóteles. Sugirió que sería mejor si esta energía se gastase en mejorar la fe y la moral de la comunidad [24]. Quizás por esta razón, agregó a su crítica una teoría «probable» del universo basada en el atomismo clásico. Nicolás deseaba mostrar, no sólo que la ciencia de Aristóteles no era una ciencia de certezas, sino también que la visión que Aristóteles tenía del universo no era siquiera la más probable de las visiones del mundo.

---

23 J. R. Weinberg *Nicolaus of Autrecourt* (Princenton, N. J.: Princeton University Press, 1948), 69.

24 Ibid., 96-7.

Capítulo 6

EL DEBATE SOBRE SALVAR LAS APARIENCIAS

NICOLÁS COPÉRNICO (1473-1543) recibió una sinecu a como canónigo en Frauenburgo, gracias a los esf e zos de su influyente tío, el obispo de Ermland. El resultado de esto fue que Copérnico t vo la opo tunidad de pasar varios años estudiando en las universidades italianas y de dedicarse a su proyecto de reformar la astronomía matemática planetaria. En *De revolutionibus* (1543), Copérnico revisó los modelos matemáticos de Ptolomeo eliminando los ecuantes y colocando el Sol (aproximadamente) en el centro de los movimientos planetarios.

JOHANNES KEPLER (1571-1630) nació en Weil, ciudad de Suabia. Era de constitución delicada y pasó na infancia desgraciada. Kepler encont ó alivio en sus estudios y en su fe protestante. En la universidad de Tubinga, Michael Maestlin le interesó en la astronomía copernicana. El sistema centrado en el Sol le atrajo por motivos estéticos y teológicos, y dedicó su vida al descubrimiento de la armonía matemática según la cual Dios había creado el universo.

En 1594 aceptó un puesto de profesor de matemáticas en una escuela luterana de Graz. Dos años más tarde publicó el *Mysterium Cosmographicum*, donde establecía su teoría del «sistema de sólidos regulares» de las distancias planetarias. Esta obra, como todos sus escritos, exhibe una posición pitagórica animada por el fervor cristiano. En 1600, en parte para escapar de la presión de los católicos de Graz, Kepler fue a Praga como ayudante del gran astrónomo observador Tycho Brahe. Con el tiempo tuvo acceso a las observaciones de Tycho, y en gran parte moderó su ent siasmo por las correlaciones matemáticas por respeto a la exactit d de los datos de Tycho. Kepler publicó las dos primeras leyes del movimiento planetario en *Astronomia Nova* (1609), y la tercera ley en *De Harmonice Mundi* (1619).

Osiander, los modelos matemáticos y la verdad física

La cuestión sobre el método adecuado en astronomía se debatía todavía en el siglo XVI. El teólogo luterano Andreas Osiander apoyó la tradición de salvar las apariencias en su prólogo al *De revolutionibus* de Copérnico. Osiander argüía que Copérnico estaba trabajando en la tradición de aquellos astrónomos que inventaban libremente modelos matemáticos con el propósito de predecir las posiciones de los planetas. Declaraba que no importa si los planetas giran realmente alrededor del Sol. Lo que cuenta es que Copérnico ha sido capaz de salvar las apariencias con su supuesto. En una carta dirigida a Copérnico, Osiander trataba de persuadirle de que presentase su sistema centrado en el Sol como una mera hipótesis para la que sólo se reclamaba la verdad matemática.

El compromiso de Copérnico con los pitagóricos

Copérnico, sin embargo, no suscribía este enfoque de la astronomía. Como pitagórico comprometido, buscaba en los fenómenos la armonía matemática porque pensaba que estaba «realmente allí». Copérnico creía que su sistema centrado en el Sol era algo más que un recurso para el cálculo.

Copérnico se daba cuenta de que los movimientos observados de los planetas podían deducirse con aproximadamente el mismo grado de exactitud a partir de su sistema o a partir del de Ptolomeo. De ahí que reconociera que la elección de uno de los modelos rivales se basaba en otras consideraciones que en la de su éxito en ajustarse a los hechos. Copérnico argumentaba en defensa de la superioridad de su sistema apelando a la «integración conceptual» como criterio de aceptabilidad. Comparaba su modelo unificado del sistema solar con la colección tolemaica de distintos modelos, uno para cada planeta. Señalaba, no obstante, que el sistema centrado en el Sol explicaba las magnitudes y frecuencias de los movimientos retrógrados de los planetas. El sistema centrado en el Sol implica, por ejemplo, que el movimiento retrógrado de Júpiter es más pronunciado que el de Saturno y que la frecuencia de ese movimiento es mayor en Saturno que en Júpiter [1]. Por el contrario, el sistema de Ptolomeo, centrado en la Tierra, no proporciona ninguna explicación de estos hechos [2].

---

[1] Suponiendo, por supuesto, que las velocidades de los planetas disminuyen de manera regular al ir de Mercurio hacia Saturno.

[2] Copérnico, *De Revolutionibus Orbium Coelestium,* Libro I, cap. 10 [edición cast. *Las revoluciones de las esferas celestes,* Libro I; Buenos Aires, EUDEBA, 1965 (trad. por Jorge Fernández Chiti)].

Copérnico murió antes de tener la oportunidad de responder al prólogo de Osiander a su libro. Consecuentemente, el enfrentamiento del siglo XVI entre las dos orientaciones metodológicas —el pitagorismo y la preocupación por salvar las apariencias— no fue tan viva como pudo haberlo sido.

Bellarmine contra Galileo

Quedó para el cardenal Bellarmino y Galileo el sentar las posiciones rivales con la máxima intensidad. Bellarmino informó a Galileo en 1615 de que era permisible, desde el punto de vista de la Iglesia, discutir el sistema copernicano como un modelo matemático para salvar las apariencias. Indicó, además, que era permisible considerar que el modelo copernicano era capaz de salvar mejor las apariencias que el modelo tolemaico. Pero Bellarmino insistió en que considerar a un modelo matemático superior a otro no era lo mismo que demostrar la verdad física de los supuestos del modelo.

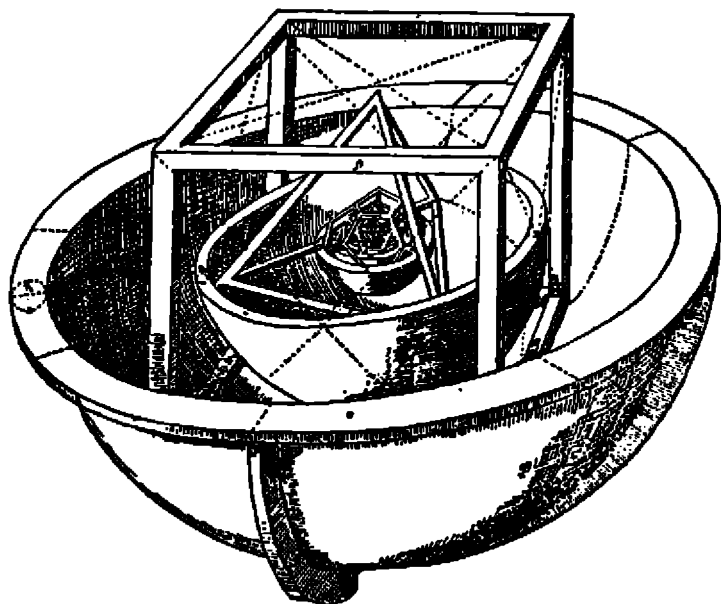
El matemático jesuita Christopher Clavius había declarado (en 1581) que Copérnico había salvado las apariencias de los movimientos planetarios deduciendo teoremas acerca de ellos a partir de axiomas *falsos*. Clavius sostenía que no había nada excepcional en el logro de Copérnico, porque, dado un teorema verdadero, se podía encontrar un número arbitrario de conjuntos de falsas premisas que implicasen el teorema. El propio Clavius prefería el sistema tolemaico, pues pensaba que un sistema centrado en la Tierra es compatible a la vez con los principios de la física y con las enseñanzas de la Iglesia.

Bellarmino era consciente de que muchos influyentes eclesiásticos compartían la opinión de Clavius, y advirtió a Galileo de que podría ser peligroso defender la postura de que el Sol realmente se encuentra fijo y de que la Tierra realmente se mueve alrededor suyo.

Como es bien sabido, Galileo apuró las cosas. A pesar de sus proclamas en contra, su *Diálogo sobre los dos principales sistemas del mundo* era, apenas veladamente, polémico a favor del sistema copernicano. Galileo no consideraba la hipótesis heliocéntrica como un mero recurso para el cálculo cuya finalidad fuese salvar las apariencias. Incluso llegó a exponer varios argumentos a favor de la *verdad física* del sistema copernicano. Fue de gran importancia para el posterior desarrollo de la ciencia el que Galileo complementase su compromiso pitagórico con la convicción de que, mediante experimentos adecuadamente elegidos, puede establecerse la existencia de armonías matemáticas en el universo.

El compromiso pitagórico de Kepler

La orientación pitagórica produjo sustanciales dividendos en las investigaciones astronómicas de Johannes Kepler. Kepler pensó que era significativo el que existiesen justo seis planetas y cinco sólidos regulares. Debido a que creía que Dios creó el sistema solar según un patrón matemático, buscó correlacionar las distancias de los planetas al Sol con estas figuras geométricas. En el *Misterium Cosmographicum*, libro publicado en 1596, anunció con cierto orgullo que había tenido éxito en la comprensión del plan de la creación divina.



Modelo Kepleriano de los sólidos regulares

Kepler mostró que las distancias de los planetas podían ser puestas en correlación con los radios de envolturas esféricas, que se inscribían en, y eran circunscritas por, un sistema de los cinco sólidos regulares. La disposición kepleriana era:

Esfera de Saturno
Cubo
Esfera de Júpiter
Tetraedro

Esfera de Marte
Dodecaedro
Esfera de la Tierra
Icosaedro
Esfera de Venus
Octaedro
Esfera de Mercurio

Kepler pudo obtener una concordancia aproximada entre las proporciones observadas de los radios de los planetas y las proporciones calculadas a partir de la geometría del sistema de sólidos regulares. Sin embargo, tomó los valores de los radios planetarios de los datos de Copérnico, que referían las distancias planetarias al centro de la órbita de la Tierra. Kepler esperaba mejorar las correlaciones aproximadas que su teoría le proporcionaba refiriendo las distancias planetarias al Sol, aunque tomando en cuenta la excentricidad de la órbita de la Tierra. Sobre esta base, volvió a calcular las proporciones de los radios planetarios, utilizando los datos más exactos de Tycho Brahe, y se encontró con que estas proporciones diferían de modo sustancial de las proporciones calculadas a partir de la teoría de los sólidos regulares. Kepler aceptó esto como refutación de su teoría, pero su fe pitagórica se mantuvo inconmovible. Estaba convencido de que las propias discrepancias entre la observación y la teoría debían ser una manifestación de armonías matemáticas aún por descubrir.

Kepler perseveró en la búsqueda de regularidades matemáticas en el sistema solar, y finalmente tuvo éxito al formular las tres leyes del movimiento planetario:

1) La órbita de un planeta es una elipse con el Sol en uno de sus focos.
2) El radio vector que va del Sol al planeta barre áreas iguales en tiempos iguales.
3) La razón de los cuadrados de los períodos de dos planetas cualesquiera es directamente proporcional a la razón de los cubos de sus distancias medias al Sol.

El descubrimiento por Kepler de la Tercera Ley es una sorprendente aplicación de los principios pitagóricos. Estaba convencido de que debía haber una correlación matemática entre las distancias planetarias y las velocidades orbitales. Descubrió la Tercera Ley sólo después de haber ensayado diversas relaciones algebraicas posibles.

El pitagórico convencido cree que si una relación matemática se ajusta a los fenómenos, esto no puede ser una coincidencia. Pero Kepler, en particular, formuló diversas correlaciones matemáticas

cuyo carácter es sospechoso. Por ejemplo, relacionó las distancias planetarias con sus «densidades». Sugirió que las densidades de los planetas son inversamente proporcionales a las raíces cuadradas de sus distancias al Sol. Kepler no tenía modo de determinar de manera independiente las densidades de los planetas. A pesar de esto, señaló que las densidades calculadas a partir de su relación matemática podían ser correlacionadas con las densidades de sustancias terrestres bien conocidas. Estableció la siguiente tabla [3].

Relación kepleriana distancia-densidad

Planeta	*Densidad = 1 $\sqrt{distancia}$ (La Tierra = 1.000)*	*Sustancia terrestre*
Saturno	324	Las piedras preciosas más duras
Júpiter	438	Las piedras de imán
Marte	810	Hierro
Tierra	1.000	Plata
Venus	1.175	Plomo
Mercurio	1.605	Mercurio

Kepler señaló con satisfacción que sería apropiado relacionar el Sol con el oro, cuya densidad es mayor que la del mercurio. Por supuesto, Kepler no creía que la Tierra estuviese compuesta de plata y Venus de plomo, pero pensaba que era importante que las densidades planetarias que había calculado se correspondiesen con las densidades de estas sustancias terrestres.

Desde el punto de vista pitagórico, lo adecuado de una correlación matemática se determina apelando a los criterios de «éxito en el ajuste» y «simplicidad». Siempre que una relación no sea excesivamente compleja matemáticamente, si se ajusta a los fenómenos que se están considerando, es que debe ser importante. Pero una persona que no comparta la fe pitagórica sin duda juzgaría que la correlación de Kepler entre distancia y densidad era una coincidencia. Tal persona podría apelar a otros criterios distintos de los de éxito en el ajuste y simplicidad, sobre la base de que la aplicación de estos criterios por sí solos no es suficiente para distinguir correlaciones genuinas de correlaciones casuales.

Ley de Bode

La evaluación de las correlaciones matemáticas ha sido un problema continuo en la historia de la ciencia. En 1772, por ejemplo,

[3] Kepler, *Epitome of Copernican Astronomy*, trad. por C. G. Wallis, en *Ptolemy, Copernicus, Kepler*. Great Books of the Western World, vol. 16 (Chicago, Ill.: Encyclopaedia Britannica, Inc., 1952), 882.

Johann Titius propuso una correlación que caía dentro de la tradición pitagórica. Señaló que las distancias de los planetas al Sol podían ser relacionadas con los términos «adecuadamente ajustados» de la sucesión geométrica 3, 6, 12, 24...:

Ley de Bode

	4	4	4	4	4
	0	3	6	12	24
Calculado	4	7	10	16	28
Planeta	Mercurio	Venus	Tierra	Marte	(Asteroides)
Observado	3,9	7,2	10	15,2	
	4	4	4	4	
	48	96	192	384	
Calculado	52	100	196	388	
Planeta	Júpiter	Saturno	(Urano)	(Neptuno)	(Plutón)
Observado	52,0	95,4	191,9	300,7	395

Los números así obtenidos concordaban sorprendentemente con las distancias observadas, suponiendo que la Tierra = 10. El célebre astrónomo Johann Bode quedó muy impresionado por esta relación. Aceptó la postura pitagórica de que un ajuste con éxito no es probable que sea una coincidencia. A causa de su defensa de esta relación, ésta llegó a ser conocida como la «Ley de Bode». En 1780, el juicio de un astrónomo sobre la significación de la ley de Bode era un buen índice de la fuerza de su compromiso con la orientación pitagórica.

Entonces, en 1781, William Herschel descubrió un planeta más allá de Saturno. Los astrónomos del continente calcularon la distancia de Urano al Sol y hallaron las que concordaban de manera excelente con el siguiente término de la ley de Bode (196). Las cejas se elevaron. Los escépticos ya no pudieron despreciar esta correlación como una coincidencia numérica «*post factum*». Un número creciente de astrónomos comenzó a tomar en serio la ley de Bode. Se emprendió la búsqueda del «planeta perdido» entre Marte y Júpiter, y en 1801 y 1802 se descubrieron los asteroides Ceres y Palas. Aunque los asteroides eran mucho más pequeños que Mercurio, sus distancias eran tales que los astrónomos que creían en la ley de ode se convencieron de que habían encontrado el término que faltaba en la serie.

Después de ello se hizo evidente que el movimiento de Urano era afectado por un planeta aún más distante. J. C. Adams y U. J. J. Leverrier calcularon independientemente la posición de este nuevo planeta. Un ingrediente de sus cálculos fue el supuesto de que la distancia media del nuevo planeta vendría dada por el término siguiente en la ley de Bode (388). El planeta Neptuno fue descubierto por Galle en la región predicha por Leverrier. Sin embargo, la observación continuada del planeta reveló que su distancia media al Sol (dado que la Tierra = 10) es aproximadamente 300, lo cual no concuerda bien con la ley de Bode [4].

Con la inclusión de Neptuno, la ley de Bode dejó de satisfacer el criterio de éxito en el ajuste. Por ello, se puede ser pitagórico hoy día sin que impresione la ley de Bode. Por otro lado, dado que la distancia a Plutón se acerca mucho al valor que arroja la ley de Bode para el planeta siguiente a Urano, una persona con propensión pitagórica podría estar tentada de explicar el caso anómalo de Neptuno insistiendo en que Neptuno es una adquisición tardía del sistema solar, y no uno de los planetas originales.

[4] La posición d Neptuno n su órbita en la época de su descubrimiento era tal que el xc so en la estimación d su distancia al Sol no afectaba d masiado a la xactitud de la predicción d su posición sobre l fondo d las estrellas.

Capítulo 7

EL ATAQUE DEL SIGLO XVII A LA FILOSOFIA ARISTOTELICA

I. Galileo

Galileo Galilei (1564-1642) nació en Pisa de padres nobles aunque empobrecidos. En 1581 entró en la Universidad de Pisa para seguir estudios de medicina, pero pronto abandonó sus estudios médicos en favor de las matemáticas y de la física.

En 1592 fue nombrado profesor de matemáticas en la Universidad de Padua, donde permaneció hasta 1610. Durante este período, Galileo efectuó importantes observaciones telescópicas de las manchas solares, de la superficie de la Luna y de cuatro de los satélites de Júpiter. Estas observaciones eran incompatibles con las implicaciones de la cosmovisión aristotélica que la Iglesia apoyaba, en la que la materia celeste era inmutable y la Tierra era el centro de todo movimiento.

Galileo se convirtió en matemático-residente del gran Duque de Toscana en 1610. Tomó parte en una serie de disputas con los filósofos jesuitas y dominicos, y llegó a querer enseñar a estos personajes el modo correcto de interpretar las Escrituras para conseguir el acuerdo con la astronomía copernicana (*Carta a la Gran Duquesa Cristina*, 1615).

El admirador de Galileo Maffeo Barberini fue elegido Papa en 1623, y Galileo pidió y recibió permiso para preparar un estudio imparcial de los sistemas rivales copernicano y tolemaico. El *Diálogo sobre los dos principales sistemas del mundo* (1632) contenía un prólogo y una conclusión que indicaban que los sistemas rivales eran meras hipótesis matemáticas para salvar las apariencias. El resto del libro, que Galileo escribió en italiano para lograr un mayor público, contenía numerosos argumentos a favor de la verdad física de la alternativa copernicana.

Galileo fue convocado ante la Inquisición y forzado a abjurar de sus errores. Se retiró a Florencia bajo la mirada vigilante de sus enemigos. Sin em-

bargo, obtuvo la revancha con la publicación de los *Discursos sobre dos nuevas ciencias* (1638), que demostraban lo inadecuado de la física de Aristóteles eliminando con ello uno de los principales pilares del geocentrismo.

La orientación pitagórica y la demarcación de la física

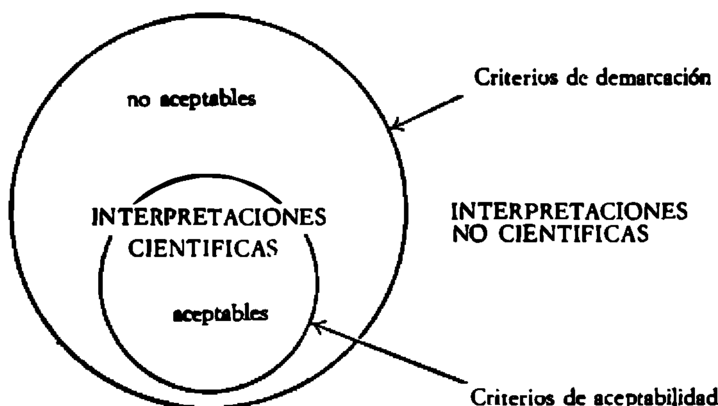
Galileo estaba convencido de que el libro de la naturaleza está escrito en el lenguaje de las matemáticas. Por esta razón, buscaba restringir el ámbito de la física a afirmaciones sobre «cualidades primarias». Las cualidades primarias son aquellas cualidades que sufren una variación cuantitativa sistemática con relación a una escala. Galileo creía que las cualidades primarias como forma, tamaño, número, posición y «cantidad de movimiento» son propiedades objetivas de los cuerpos, y que las cualidades secundarias, como los colores, sabores, olores y sonidos, existen sólo en la mente del sujeto perceptor [1].

Al restringir el objeto de la física a las cualidades primarias, Galileo excluyó las explicaciones teleológicas del ámbito del discurso permisible en física. Según Galileo, no es una explicación científica *bona fide* afirmar que un movimiento tiene lugar *con el fin de que* pueda realizarse un estado futuro. En particular, insistía en que las interpretaciones aristotélicas en términos de «movimientos naturales» hacia «lugares naturales» no son explicaciones científicas. Galileo se daba cuenta de que no podía probar que eran falsas afirmaciones tales como «los cuerpos no sujetos se mueven hacia la Tierra con el fin de alcanzar su 'lugar natural'». Pero también se dio cuenta de que este tipo de interpretación puede eliminarse de la física porque no «explica» los fenómenos.

En el análisis de Galileo está implícita una distinción entre dos etapas en la evaluación de las interpretaciones de la ciencia. La primera etapa es demarcar las interpretaciones científicas de las interpretaciones no científicas. Galileo coincidía con Aristóteles en que esto es una cuestión de circunscripción del objeto adecuado de la ciencia. La segunda etapa es determinar la aceptabilidad de aquellas interpretaciones que se califiquen como científicas. El enfoque de Galileo al problema de evaluar las interpretaciones de la ciencia puede presentarse como sigue:

---

1 Galileo, *The Assayer* (El ensayador), trad. por Drake, en *The Controversy on the Comets of 1618* (La controversia sobre los cometa en 1618), trad. por S. Drake y C. D. O'Malley (Filadelfia: University of Pennsylvania Press, 1960), 309.



Galileo estableció la circunferencia del círculo mayor restringiendo el objeto de la física a los enunciados sobre cualidades primarias.

Una consecuencia de la demarcación galileana de la física es que los movimientos de los cuerpos se describen respecto a un sistema de coordenadas en el espacio. Galileo sustituyó el espacio cualitativamente diferenciado de Aristóteles por un espacio geométrico cuantitativamente diferenciado.

Pero su ruptura con el espacio cualitativamente diferenciado del universo aristotélico no fue nunca completa. En la temprana obra *De Motu*, el propio Galileo afirmó la doctrina de los «lugares naturales»[2]. Aunque posteriormente trató de eliminar de la física las interpretaciones en términos de «lugares naturales», a lo largo de toda su vida permaneció adepto a la doctrina de que sólo el movimiento circular es el adecuado para los cuerpos celestes. Galileo creía que la propia Tierra es un cuerpo celeste *bona fide*, e intentó probar a los aristotélicos que la Tierra y los cuerpos de su superficie participan de la perfección del movimiento circular. Por ejemplo, mantenía que, en ausencia de toda resistencia, el movimiento a lo largo de la superficie de la Tierra persistiría sin disminuir de modo indefinido[3]. En este caso, Galileo fue culpable de formular el mismo

[2] Galileo, *On Motion* (Sobre el movimiento), trad. por I. E. Drabkin, en Galileo *On Motion and On Mechanics* (Sobre el movimiento y la mecánica), trad. por I. E. Drabkin y S. Drake (Madison: The University of Wisconsin Press, 1960), 14-6.

[3] Galileo, *Dialogue Concerning The Two Chief World Systems*, trad. por S. Drake (Berkeley: University of California Press, 1953), 148 [ed. cast. *Diálogo sobre los sistemas máximos;* Buenos Aires, Aguilar, 1975 (trad por J. M. Revuelta)]; *Dialogues Concerning Two New Sciences*, trad. por H. Grew y A. de Salvio (Nueva York: Dover Publications, 1914), 181-182 [ed. cast. *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre las nuevas ciencias;* Madrid, Editora

tipo de interpretación que su demarcación de la física intentaba excluir.

Teoría del procedimiento científico

La polémica antiaristotélica de Galileo *no* iba dirigida contra el método inductivo-deductivo de Aristóteles. Aceptaba la concepción de Aristóteles de la investigación científica como una progresión en dos etapas de las observaciones a los principios generales y de vuelta a las observaciones.

Más aún, Galileo aprobaba la posición de Aristóteles de que los principios explicativos debían inducirse de los datos de la experiencia sensible. A este respecto, Galileo observó que el propio Aristóteles habría repudiado la doctrina de la inmutabilidad de los cielos, si hubiese estado en posesión de las pruebas que el telescopio del siglo XVII aportó sobre las manchas solares. Declaró que «es mejor filósofo aristotélico quien dice 'los cielos son alterables porque mis sentidos así me lo dicen', que quien dice 'los cielos son inalterables porque Aristóteles estaba convencido de ello mediante razonamientos'» [4].

Las puntualizaciones de Galileo sobre el procedimiento científico iban dirigidas contra los practicantes de un falso aristotelismo, que provocaba un cortocircuito en el método de resolución y composición al comenzar, no con la inducción a partir de la experiencia sensible, sino con los primeros principios de Aristóteles. Este falso aristotelismo fomentaba una teorización dogmática que separaba a la ciencia de su base empírica. Galileo condenó frecuentemente esta perversión de la metodología de Aristóteles.

El método de resolución

Galileo insistía en la importancia de la abstracción y de la idealización para la física, extendiendo por tanto el alcance de las técnicas inductivas. En su propia obra, hizo uso de idealizaciones tales como «caída libre en el vacío» y «péndulo ideal». Estas idealizaciones no se encuentran directamente ejemplificadas en los fenómenos. Se formulan por extrapolación de fenómenos serialmente ordenados. El concepto de caída libre en el vacío, por ejemplo, es una extrapolación de la conducta observada de la caída de los cuerpos en una serie de

Nacional, 1976 (Ed. de Carlos Solís y Javier Sádaba)]; «Second letter from Galileo to Mark Welser on Sunspots» (Segunda carta de Galileo a Mark Welser sobre las manch s solares), en *Discoveries and Opinions of Galileo* (Descubrimientos y opiniones de Galileo), trad. y ed. por S. Drake (Garden City, N. Y.: Doubleday Anchor Books, 1957), 113-14.

4 Galileo, *Two World Systems*, 56.

fluidos de densidad decreciente [5]. El concepto de péndulo ideal es asimismo una idealización. Un péndulo «ideal» es aquel cuya lenteja está sujeta por una cuerda «sin masa» en la que no existen fuerzas de fricción debidas a los distintos períodos de movimiento para diferentes segmentos de la cuerda. Además, el movimiento de ese péndulo no se ve perturbado por la resistencia del aire.

La obra de Galileo sobre la mecánica testifica la fertilidad de estos conceptos. Fue capaz de deducir la conducta aproximada de cuerpos en caída y de péndulos reales a partir de los principios explicativos que especifican las propiedades de los movimientos idealizados. Una consecuencia importante de este uso de las idealizaciones fue enfatizar el papel de la imaginación creativa en el método de resolución. Las hipótesis sobre idealizaciones no pueden obtenerse de la inducción por enumeración simple ni por los métodos del acuerdo y la diferencia. Es necesario que el científico intuya qué propiedades de los fenómenos son la base adecuada para la idealización y qué propiedades pueden ignorarse [6].

El método de composición

Grosseteste y Roger Bacon habían enriquecido el método de resolución sugiriendo la deducción de consecuencias no incluidas en los datos inicialmente utilizados para inducir principios explicativos. Galileo hizo una sorprendente aplicación de este procedimiento deduciendo de su hipótesis de la trayectoria parabólica de los proyectiles que el alcance máximo se consigue a los 45 grados. El hecho de que el alcance máximo se consigue a los 45 grados se sabía antes de la obra de Galileo. El logro de Galileo fue una explicación de este hecho. Galileo también dedujo de la trayectoria parabólica que se alcanza la misma distancia con ángulos de elevación igualmente distantes de los 45 grados, v. g., 40 grados y 50 grados. Afirmó que esto era algo de lo que no se habían dado cuenta los artilleros, y utilizó esta ocasión para elogiar la superioridad de la demostración matemática sobre la experiencia sin instrucción [7].

Confirmación experimental

Grosseteste y Roger Bacon habían añadido al método de resolución y composición una tercera etapa en la que las conclusiones alcanzadas eran posteriormente comprobadas experimentalmente. La

---

[5] Galileo, *Two New Sciences*, 72.
[6] Galileo, *Two World Systems*, 207-08.
[7] Galileo, *Two New Sciences*, 276.

actitud de Galileo hacia esta tercera etapa ha recibido valoraciones muy diferentes. Se le ha aclamado como un campeón de la metodología experimental. Pero también ha sido criticado por no haber apreciado la importancia de la confirmación experimental. Se puede argumentar a favor de ambas evaluaciones, tanto a partir de sus comentarios sobre el procedimiento científico como a partir de su práctica científica.

Galileo hizo pronunciamientos ambivalentes sobre el valor de la confirmación experimental. Su énfasis dominante es afirmativo. Por ejemplo, en los *Discursos sobre dos nuevas ciencias*, después que Salviati deduce la ley de la caída de los cuerpos, Simplicio le demanda la confirmación experimental de esta relación. Galileo hizo que Salviati le contestase que «la petición que vos, como hombre de ciencia, me hacéis, es muy razonable; ya que ésta es la costumbre —y ésta es adecuada— en las ciencias en que las demostraciones matemáticas se aplican a los fenómenos naturales» [8].

Sin embargo, también es cierto que Galileo escribió algunas veces como si la confirmación experimental no tuviese mucha importancia. Por ejemplo, después de haber deducido la variación en el alcance de un proyectil con el cambio en el ángulo de elevación, escribió que «el conocimiento de un simple hecho conseguido mediante el descubrimiento de sus causas prepara la mente para entender y determinar otros hechos sin necesidad de recurrir al experimento» [9].

Una ambivalencia parecida respecto de la experimentación la encontramos en la práctica científica de Galileo. Muy a menudo describía experimentos que probablemente había realizado él mismo.

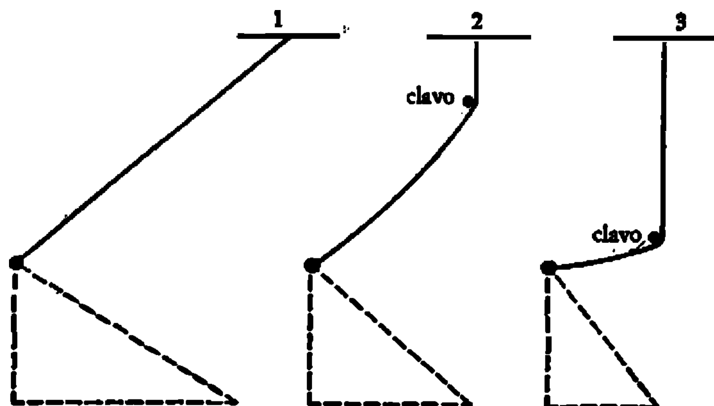
Desde el punto de vista de la historia de la física, los experimentos más importantes de Galileo fueron sobre el problema de la caída de los cuerpos. Galileo contó que había confirmado la ley de caída de los cuerpos mediante bolas que rodaban por planos inclinados de diversas alturas. Aunque no informó de los valores obtenidos en estos experimentos, entró en considerables detalles acerca de la construcción de los planos y de la medida del tiempo de caída mediante un reloj de agua [10].

Galileo también relató que había realizado experimentos con un péndulo para confirmar la hipótesis de que las velocidades adquiridas por un cuerpo que baja por planos de diferentes inclinaciones son iguales cuando las alturas de los planos son iguales. Afirmó que si el movimiento de un péndulo, consistente en una bola atada a una

---

8 Ibid., 178.
9 Ibid., 276.
10 Ibid., 178-79.

cuerda, es interrumpido al chocar la cuerda con un clavo, entonces la bola alcanzará la misma altura que cuando oscila sin impedimentos.



Experimento de Galileo del péndulo y el clavo

Galileo mantenía que el experimento del péndulo y el clavo confirmaba indirectamente la hipótesis sobre el movimiento en planos inclinados. Señaló que la confirmación directa haciendo caer una bola por un plano y subir por otro era impracticable debido al «obstáculo» del punto de unión [11].

Experimentos menos conocidos de Galileo incluían una demostración de que una vasija hueca de madera que está flotando no se hunde cuando la cavidad se llena de agua [12], y la ocultación de estrellas por una soga para mostrar que el ojo desnudo exagera los diámetros estelares [13].

A pesar de sus descripciones de experimentos supuestamente realizados, sin embargo, el apego de Galileo a la confirmación experimental no fue completo. Hay casos en los que desprecia la prueba experimental que parece ir en contra de sus teorías.

En la obra temprana *De Motu*, por ejemplo, Galileo formuló la relación $\frac{v_1}{v_2} = \frac{d_1 - d_m}{d_2 - d_m}$, en la que v_1 y v_2 son las velocidades de caída de dos esferas del mismo volumen a través de un medio, d_1 y

[11] Ibid., 172.

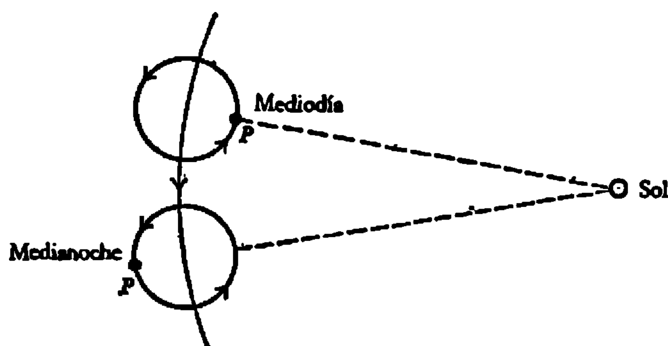
[12] Galileo, *Discourse on Bodies in Water* (Discurso sobre los cuerpos en el agua), trad. por T. Salusbury (Urbana: University of Illinois Press, 1960), 22

[13] Galileo, *Two World Systems*, 361-64.

d_2 son las densidades de los cuerpos, y d_m es la densidad del medio. Comentando esta relación, admitía que si uno arroja desde una torre dos bolas, elegidas de tal manera que $\frac{d_1 - d_m}{d_2 - d_m} = 2$, *no* se observa la proporción correspondiente en las velocidades. Además, las dos bolas alcanzan el suelo aproximadamente al mismo tiempo. Galileo atribuía este fracaso en la confirmación a «accidentes extraños»[14]. En este caso, estaba ansioso por defender una relación matemática que, creía, se seguía de la ley del empuje de Arquímedes, a pesar del hecho de que no describe la caída de los cuerpos a través del aire. Posteriormente Galileo abandonó esta relación en favor de un enfoque cinemático en el que la distancia de caída se relaciona con el tiempo transcurrido.

Galileo despreció también elementos de juicio desfavorables para su teoría de las mareas. Creía que las mareas eran causadas por la combinación positiva y negativa de los movimientos de la Tierra, su revolución anual alrededor del Sol y su rotación diaria sobre su eje. La hipótesis de Galileo, toscamente expresada, era que para un puerto dado *P*, la revolución y la rotación se sumaban la una a la otra a la medianoche y se oponían al mediodía.

El resultado de estos refuerzos y anulaciones periódicos es que el agua de la costa se retira de ésta por la noche y se acumula du-



Teoría de Galileo de las mareas

rante el día. De la teoría de Galileo se sigue que debe haber justo una sola marea alta por día en un lugar dado, y que esto debe producirse alrededor del mediodía.

---

14 Galileo, *On Motion*, 37-38.

Pero era un hecho bien establecido que hay dos mareas altas en un puerto dado. Más aún, la hora a la que ocurren va variando progresivamente de día en día. Galileo decidió no detenerse ante tales hechos recalcitrantes. Atribuyó la diferencia entre teoría y hechos a la acción de causas secundarias sin importancia, tales como la irregular profundidad del mar y la forma y orientación de la línea de la costa. Galileo estaba tan ansioso por encontrar argumentos en favor del movimiento de la Tierra, que optó por despreciar las pruebas contrarias a su teoría de las mareas.

Además, hay un caso en el que Galileo dio cuenta de haber confirmado una ley en un ámbito para el cual la ley no se mantiene. Proclamó haber observado que el período de un péndulo es independiente de la amplitud de su oscilación hasta ángulos de 80 grados a partir de la perpendicular [15]. Pero el período de un péndulo es independiente de su amplitud sólo para desplazamientos pequeños de la perpendicular. Se debe concluir que, o bien Galileo no se molestó en experimentar con oscilaciones de amplios ángulos, o bien que sus observaciones fueron extremadamente descuidadas. Quizás su error pueda atribuirse a una fuerte convicción acerca de cómo *debía* oscilar un péndulo.

El ideal de sistematización deductiva

Galileo sostuvo el ideal de Arquímedes de la sistematización deductiva. Aceptó también la distinción platónica entre lo real y lo fenoménico, con la que este ideal iba asociado. Desde el punto de vista de esta distinción, es natural el quitar importancia a las discrepancias entre los teoremas de los sistemas deductivos y lo que realmente se observa. Tales discrepancias pueden atribuirse a complicaciones experimentales «sin importancia». Como se señaló antes, Galileo recurrió algunas veces a este enfoque.

Sin embargo, un aspecto más importante de la observancia platónico-arquimediana de Galileo fue su énfasis sobre el valor de la abstracción e idealización en la ciencia. Este fue el aspecto inverso, por así decirlo, de sus deseos de desechar las discrepancias entre la teoría y la observación. Se ha destacado anteriormente que una gran parte del éxito que tuvo Galileo en física puede atribuirse a su habilidad para arrinconar diversas complicaciones empíricas con el fin de trabajar con conceptos ideales como «caída libre en el vacío», «péndulo ideal» y «movimiento sin rozamientos de un barco a través

---

[15] Galileo, *Two New Sciences*, 254-55, 85; *Two World Systems*, 450.

del océano». Este es un aspecto positivo del ideal de sistematización deductiva. La sofisticación del propio Galileo era considerable en relación al papel de la abstracción en la ciencia. Escribió que

> igual que el contador que desea que sus cálculos se ocupen de azúcar, seda y lana debe descontar las cajas, fardos y demás empaques, así el científico matemático, cuando desea reconocer en lo concreto los efectos que ha probado en abstracto, debe deducir los obstáculos materiales, y si es capaz de hacerlo, yo os aseguro que las cosas no se hallan en menor armonía que los cálculos aritméticos. Los errores, entonces, no radican en la abstracción o en la concreción, ni en la geometría o la física, sino en el contador que no sabe cómo se llevan de verdad las cuentas[16].

II. Francis Bacon

Francis Bacon (1561-1626) era hijo de Sir Nicholas Bacon, Lord Guardián de la Reina Isabel I. Bacon ingresó en el Trinity College de Cambridge a la edad de trece años y allí germinó su antipatía hacia la filosofía aristotélica. Posteriormente, estudió leyes en el Gray's Inn y en 1586 fue admitido en el cuerpo de abogados.

Bacon hizo numerosos esfuerzos para conseguir un nombramiento gubernamental de la Reina, pero aunque su tío William Cecil, más tarde Lord Burghley, era el ministro más importante de Isabel I, el nombramiento no llegó. Sin duda, esto se debió en parte a la defensa que hizo Bacon de los derechos de la Cámara de los Comunes contra ciertos proyectos propuestos por los ministros de la Reina.

Después del acceso al trono de Jacobo I, la estrella de Bacon subió muy alto. Fue caballero en 1603, Fiscal de la Corona en 1613, Lord Guardián en 1617, Lord Canciller en 1618, Barón de Verulam en 1618 y Vizconde de San Albans en 1621. Poco después se confesó culpable de recibir regalos de personas que tenían causas que a él, como Lord Canciller, le tocaba dirimir. Bacon insistió en que él no había consentido que la recepción de regalos influyera en su juicio sobre estas causas, pero no se defendió contra la acusación de haber aceptado los regalos. Bacon fue multado, encarcelado y alejado de la vida pública por sus compañeros de la Cámara de los Lores, mas el Rey perdonó la multa y dio término a su prisión después de unos pocos días.

Bacon pasó mucho tiempo durante los últimos cinco años de su vida trabajando en su *Great Instauration* (Gran Instauración), que quería ser una reformulación de las ciencias. Su contribución más importante a esta Instauración fue el *Novum Organum,* que había publicado en 1620. En esta obra pergeñó un «nuevo» método científico para sustituir al de Aristóteles. También creó una influyente imagen de la investigación científica cooperativa en su *New Atlantis* (1627) (La nueva Atlántida).

La controversia sobre el valor de la contribución de Bacon

Francis Bacon es una figura controvertida dentro de la historia de la ciencia. A los ojos de los fundadores de la Royal Society fue

[16] Galileo, *Two World Systems,* 207-08.

el profeta de una nueva metodología científica. Los *philosophes* igualmente consideraban que Bacon era un innovador, un campeón del nuevo método inductivo-experimental. Pero Alexandre Koyré y E. J. Dijksterhuis, dos eminentes historiadores del siglo XX, han minimizado el valor de las contribuciones de Bacon. Han destacado que Bacon no consiguió resultados nuevos para la ciencia, y que su crítica del método aristotélico no era ni original ni incisiva. Según Dijksterhuis, el papel de Bacon en la ciencia fue análogo al papel militar del poeta griego lisiado Tirteo. Tirteo no podía luchar, pero sus canciones de guerra daban ánimo a aquellos que podían [17].

Los litigantes están de acuerdo acerca de varios aspectos de la contribución de Bacon: 1) que el propio Bacon no enriqueció a la ciencia mediante ejemplos concretos del método que profesaba; 2) que las grandes dotes literarias de Bacon le capacitaron para expresar sus ideas de modo tan eficaz que muchos estudiosos le han atribuido un gran papel en la revolución científica del siglo XVII; y 3) que la originalidad de Bacon, si es que posee alguna, es su teoría del método científico.

El propio Bacon reclamó la originalidad para su método. Escogió como título de su principal obra sobre el método «*Novum Organum*», indicando con ello que su método había de sustituir al método de que trataba el *Organon*, compilación medieval de los escritos de Aristóteles. Algunos críticos han mantenido que Bacon lo consiguió. Por ejemplo, John Herschel declaró en su influente *Preliminary Discourse on Natural Philosophy* (1830) que

> con los descubrimientos de Copérnico, Kepler y Galileo, los errores de la filosofía aristotélica fueron eficazmente echados por tierra mediante la sencilla apelación a los hechos de la naturaleza; pero quedaba por mostrar sobre la base de principios amplios y generales cómo y por qué Aristóteles estaba equivocado; poner de manifiesto la peculiar debilidad de su método de filosofar y sustituirlo por uno más fuerte y mejor. Esta importante tarea fue realizada por Francis Bacon [18].

Crítica del método aristotélico

Pero ¿constituía el método de Bacon un «nuevo» *Organon*? Bacon insistía en que el primer requisito del método científico era que el científico natural se purgase a sí mismo de prejuicios y pre-

[17] E. J. Dijksterhuis, *The Mechanization of the World Picture* (La mecanización de la imagen del mundo), trad. por C. Dikshoorn (Oxford: Clarendon Press, 1961), 402.

[18] John F. W. Herschel, *A Preliminary Discourse on the Study of Natural Philosophy* (Discurso preliminar sobre el estudio de la filosofía natural) (Londres: Longman, Rees, Orm, Brown and Green y John Taylor, 1837), 113-14.

disposiciones con el fin de convertirse de nuevo en un niño frente a la naturaleza. Señaló que el estudio de la naturaleza había sido oscurecido por cuatro clases de «ídolos» que obstruían la mente humana. Los ídolos de la tribu tenían su fundamento en la propia naturaleza humana. El entendimiento tiene la tendencia a postular más regularidades en la naturaleza de las que realmente encuentra, a generalizar imprudentemente y a sobreestimar el valor de los casos confirmatorios. Los ídolos de la caverna, por el contrario, son actitudes hacia la experiencia que surgen de la formación y de la educación de los hombres como individuos. Los ídolos del mercado son distorsiones que sobrevienen cuando los significados de las palabras quedan reducidas al mínimo común denominador del uso vulgar, impidiendo de ese modo la formación de conceptos científicos. Y los ídolos del teatro son los dogmas y métodos recibidos de las diversas filosofías.

La filosofía de Aristóteles era un ídolo del teatro que Bacon estaba muy ansioso por desacreditar. Se debe subrayar, sin embargo, que Bacon aceptó el esquema básico de la teoría inductivo-deductivo de Aristóteles sobre el procedimiento científico. Bacon, como Aristóteles, consideraba la ciencia como una progresión desde las observaciones a los principios generales y regreso a las observaciones. Es cierto que Bacon enfatizó la etapa inductiva del procedimiento científico. Pero asignó a los argumentos deductivos un importante papel en la confirmación de generalizaciones inductivas [19]. Además, Bacon insistió en que los frutos de la investigación científica son nuevos trabajos e invenciones, y señaló que esto es una cuestión de deducir de los principios generales consecuencias que tengan aplicación práctica [20].

Pero aunque Bacon aceptó la teoría del procedimiento científico de Aristóteles, criticó grandemente el modo en que este procedimiento había sido ejecutado. Con respecto a la etapa inductiva, Bacon formuló una acusación en tres partes.

Primero, Aristóteles y sus seguidores llevan a cabo una recolección de datos azarosa y acrítica. Francis Bacon instó a que se llevase a la práctica plenamente la segunda prerrogativa de la ciencia experimental de Roger Bacon, esto es, el uso de la experimentación sistemática para conseguir nuevos conocimientos sobre la naturaleza. En conexión con esto, Francis Bacon destacó el valor de los instrumentos científicos en la recolección de datos.

---

19 Francis Bacon, *Novum Organum*, I, Aforismo CVI [ed. cast., *Novum Organum;* Barcelona, Fontanella, 1979 (trad. por Cristóbal Litrán)].
20 Ibid., II, Aforismo X.

Segundo, los aristotélicos generalizan demasiado imprudentemente. Dadas unas pocas observaciones, saltan inmediatamente a los principios más generales y entonces utilizan estos principios para deducir generalizaciones de menor alcance.

Tercero, Aristóteles y sus seguidores confían en la inducción por enumeración simple, en la cual se afirma que, correlaciones de propiedades observadas en varios individuos de un tipo dado, se mantienen para todos los individuos de ese tipo. Pero la aplicación de esta técnica inductiva conduce frecuentemente a conclusiones falsas, ya que no se toman en cuenta los casos negativos (Bacon no mencionó el énfasis que pusieron en el método de la diferencia escritores medievales como Grosseteste y Occam).

Con respecto a la etapa deductiva de la investigación científica, Bacon formuló dos quejas. La primera fue que los aristotélicos no habían conseguido definir adecuadamente predicados tan importantes como «atracción», «generación», «elemento», «pesado» y «húmedo», dejando, por ello, sin utilidad los argumentos silogísticos en los que estos predicados aparecen[21]. Bacon señaló correctamente que la demostración silogística a partir de primeros principios sólo es efectiva si los términos de los silogismos se hallan bien definidos.

La segunda queja de Bacon fue que Aristóteles y sus seguidores habían reducido la ciencia a lógica deductiva, al sobreenfatizar la deducción de consecuencias a partir de primeros principios. Bacon subrayó que los argumentos deductivos sólo tienen valor científico si sus premisas tienen un soporte inductivo adecuado.

En este punto, Bacon debió haber distinguido entre la teoría de Aristóteles sobre el procedimiento y el modo que en esta teoría del procedimiento fue indebidamente utilizada por los pensadores posteriores que se llamaron a sí mismos «aristotélicos». Los practicantes de un falso aristotelismo habían provocado un corte en el método de Aristóteles al comenzar, no con la inducción a partir de las pruebas observacionales, sino con los primeros principios de Aristóteles. Este falso aristotelismo llevó a una teorización dogmática que separó la ciencia de su base empírica. Pero el propio Aristóteles había insistido en que los primeros principios debían inducirse a partir de las pruebas observacionales. Bacon fue injusto al condenar a Aristóteles por reducir la ciencia a lógica deductiva.

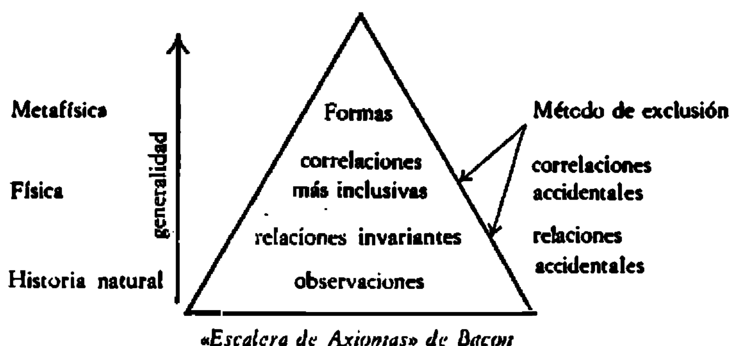
---

21 F. Bacon, «Plan of the Work» (Plan de la obra) en *The Works of Francis Bacon*, vol. VIII, ed. por J. Spedding, R. L. Ellis, y D. D. Heath (Nueva York: Hard and Houghton, 1870, 41; *Novum Organum*, I, Aforismo XV.

«Corrección» del método aristotélico

Bacon propuso su nuevo método para la ciencia con el fin de superar las supuestas deficiencias de la teoría de Aristóteles sobre el procedimiento. Los dos rasgos principales del nuevo método de Bacon fueron el énfasis en las inducciones graduales, progresivas y el método de exclusión.

Bacon pensaba que la investigación científica adecuadamente conducida es un ascenso paso a paso desde la base hasta el vértice de una pirámide de proposiciones, esto es:



«Escalera de Axiomas» de Bacon

Bacon sugería que debía reunirse una serie de «historias naturales y experimentales» con el fin de establecer una base segura para la pirámide. El propio Bacon contribuyó con trabajos sobre los vientos, el flujo y el reflujo de las mareas, y la longevidad y los modos de vida de diversas gentes y animales. Desgraciadamente, muchos de los materiales para sus historias naturales los tomó de fuentes que no eran dignas de crédito.

Bacon sostenía que, después de haber establecido los hechos de una ciencia particular, el filósofo natural debía buscar correlaciones entre estos hechos. E insistió en el ascenso inductivo gradual, desde correlaciones con un bajo grado de generalidad hasta las más inclusivas.

Bacon se daba cuenta de que algunas correlaciones entre los hechos eran sólo correlaciones «accidentales». Para eliminar las correlaciones accidentales, formuló un método de exclusión. Bacon sugirió que las correlaciones accidentales podían a menudo identificarse inspeccionando tablas de presencia, ausencia y grados. Cualquier corre-

lación para la que existe un caso en el que un atributo está ausente cuando el otro está presente o casos en los que un atributo aumenta cuando el otro disminuye, ha de excluirse de la pirámide. Bacon creía que después de que se habían excluido de este modo las correlaciones accidentales, sólo quedarían las correlaciones esenciales. Y las correlaciones esenciales son el objeto adecuado para posteriores generalizaciones inductivas.

Bacon citó el método de exclusión como un punto importante de superioridad de su método sobre el de Aristóteles. Mantenía correctamente que la enumeración simple, que es uno de los procedimientos inductivos empleados por Aristóteles, es inadecuado para distinguir las correlaciones esenciales de las accidentales. Bacon sostenía que la aplicación del método de exclusión podía efectuar esta distinción, debido a que su método concede el peso debido a la ausencia y a la intensidad relativa.

Bacon fue lo suficientemente realista para reconocer que, en muchos casos, es difícil encontrar correlaciones esenciales con la mera inspección de las tablas de presencia, ausencia y grados. Por esta razón, aisló varios tipos de «casos de prerrogativa» que tienen un especial valor para la búsqueda de correlaciones esenciales. Parece haber pensado que la verdadera naturaleza de estos casos consiste en revelar correlaciones esenciales.

Quizás el más importante de los veintisiete casos de prerrogativa de Bacon sea el «caso del poste indicador». Un caso del poste indicador es un caso que decide la disputa entre explicaciones rivales. El propio Bacon sugería un caso decisivo de este tipo para optar entre dos hipótesis sobre el flujo y el reflujo de las mareas. La primera hipótesis era que las mareas eran un avance y retroceso de las aguas, en analogía con el agua a la que se somete a un movimiento de vaivén en una palangana. La segunda hipótesis era que las mareas eran una elevación y un descenso periódico de las aguas. Bacon señaló que la hipótesis de la palangana quedaría refutada si se pudiera mostrar que las mareas altas de las costas de España y Florida, temporalmente coincidentes, no iban acompañadas por mareas bajas en algún otro sitio. Sugería que un estudio de las mareas en las costas de Perú y de China resolvería la cuestión [22].

Bacon reconocía que un caso es «decisivo» sólo si es incompatible con todos los conjuntos de premisas explicativas, salvo una. Pero no es posible probar que un enunciado acerca de un tipo de fenómenos puede deducirse de exactamente esos conjuntos de premisas y no de otros. Bacon fue culpable de sobreestimar la fuerza lógica

---

[22] F. Bacon, *Novum Organum*, II, Afotismo XXXVI.

de los casos del poste indicador. No obstante, la eliminación de hipótesis cuyas consecuencias deductivas (dadas condiciones previas específicas) no están de acuerdo con las observaciones puede ser valiosa en la búsqueda de una explicación más adecuada. Por supuesto, Francis Bacon no inventó este método de falsación. Aristóteles lo había empleado, y Grosseteste y Roger Bacon lo habían recomendado como un método estándar para establecer una hipótesis eliminando las hipótesis rivales.

La búsqueda de las formas

Bacon hacía referencia a los principios más generales que se encuentran en el vértice de la pirámide con el nombre de «formas». Las formas son las expresiones verbales de relaciones entre «naturalezas simples», aquellas cualidades irreductibles presentes en los objetos que percibimos. Bacon creía que diversas combinaciones de estas naturalezas simples constituyen los objetos de nuestra experiencia, y que, si pudiésemos obtener conocimiento de las formas, sería posible controlar y modificar las fuerzas de la naturaleza.

En algunos de sus comentarios sobre las formas, Bacon parece haber concebido la unión de naturalezas simples en términos de una analogía alquímica. Por ejemplo, declaró que

> el que conoce las formas de la amarillez, peso, ductilidad, fijeza, fluidez, solución y demás, y los métodos para inducirlas, y sus gradaciones y modos, cuidará de reunirlo todo en un cuerpo, ya que puede darse la transformación de ese cuerpo en oro[23].

El propio Bacon aportó investigaciones sobre las formas del calor, blancura, atracción de los cuerpos, peso, sabor, memoria y el «espíritu encerrado en el interior de los cuerpos tangibles»[24].

Las formas de Bacon no son ni formas platónicas ni causas formales aristotélicas. Más bien, se supone que las formas expresan aquellas relaciones entre las propiedades físicas que tienen el poder de producir efectos. En términos aristotélicos, las formas de Bacon se refieren a los aspectos material y eficiente de la causación, al igual que al aspecto meramente formal.

En muchos casos (el magnetismo y el «espíritu encerrado en el interior de los cuerpos tangibles» son excepciones), Bacon especificó las formas en términos de las configuraciones y movimientos de las

[23] Ibid., II, Aforismo V.
[24] Ibid., Aforismo XI-XXXVI.

partes invisibles de los cuerpos. Aceptó el principio atomista de que los efectos macroscópicos habían de explicarse mediante interacciones submacroscópicas. Pero no aceptó la posición de los atomistas de que el choque y la impenetrabilidad son las propiedades fundamentales de los átomos. Bacon atribuyó a las partes de los cuerpos «fuerzas» y «simpatías». Más aún, no aceptó la idea de un vacío continuo en el que los átomos se hallen dispersos.

Bacon sentó los requisitos para su formas: tales proposiciones deben ser verdaderas en todos los casos, y las conversas de estas proposiciones deben ser igualmente verdaderas [25]. La forma de Bacon para el calor, por ejemplo, establece la identidad de «calor» y «rápido movimiento expansivo de las pequeñas partículas de los cuerpos, las cuales no pueden escapar de la superficie del cuerpo» [27]. Según Bacon, si está presente el calor, entonces también debe estarlo este rápido movimiento expansivo, y viceversa. Se supone que en todas las formas se da una convertibilidad parecida.

Algunas veces Bacon se refirió a las formas como «leyes». Por ejemplo, en el libro 2 del *Novum Organum*, escribió que

> cuando hablo de las formas, no me refiero a nada más que a aquellas leyes y determinaciones de realidad absoluta, que gobiernan y constituyen cualquier naturaleza simple, como el calor, la luz, el peso, en cualquier tipo de materia o sujeto que sea susceptible de ellas. Así, la forma del calor o la forma de la luz son la misma cosa que la ley del calor o la ley de la luz [28].

Si se extraen de su contexto, algunas de las consideraciones de Bacon sobre las «leyes» tienen un halo moderno. Pero varias de las ideas de Bacon no son modernas. En primer lugar, Bacon concibió las leyes físicas sobre el modelo de los decretos promulgados por un poder civil. En segundo lugar, Bacon no estaba interesado en expresar las leyes en forma matemática. Y en tercer lugar, Bacon consideraba el universo como un conjunto de sustancias que tienen propiedades y poderes y que mantienen relaciones unas con otras. No concebía el universo como un flujo de acontecimientos que se ajustan a leyes. En este punto, la metafísica de Bacon es todavía aristotélica.

Se debe concluir que la búsqueda baconiana de las formas se encuentra todavía muy inmersa en la tradición aristotélica. John Her-

---

[25] Estos requisitos corresponden respectivamente a las reglas de la Verdad y la Prudencia de Peter Ramus [26].

[26] Véase Paolo Rossi, *Francis Bacon, From Magic to Science* (Francis Bacon, de la magia a la ciencia), trad. por S. Rabinovitch (Londres: Routledge and Kegan Paul, 1968), 195-98.

[27] F. Bacon, *Novum Organum*, II, Aforismo XX.

[28] Ibid., II, Aforismo XVII.

schel exageró sobremanera la originalidad de la teoría del procedimiento de Bacon.

Bacon como propagandista de la investigación científica organizada

Mas si esto fuera todo lo que habría que decir sobre Bacon, sería difícil de entender por qué es una figura controvertida en la historia de la ciencia. Es cierto que Bacon buscaba reformar el método científico. Sin embargo, la visión baconiana de la ciencia no se agota en las «correcciones» que sugiere para la teoría del procedimiento de Aristóteles.

Bacon aceptaba como imperativo moral que el hombre ha de recobrar el dominio sobre la naturaleza que perdió en su Caída. Afirmó repetidamente que el hombre debe controlar y redirigir las fuerzas naturales con el fin de mejorar la calidad de vida de sus semejantes. Así, el descubrimiento de las formas es sólo el objetivo inmediato de la investigación científica. Se debe conseguir el conocimiento de las formas antes de que se pueda forzar a la naturaleza a servir a los propósitos humanos. Pero el objetivo último de la investigación científica es el poder sobre la naturaleza. El énfasis de Bacon en la aplicación práctica del conocimiento científico está en marcada oposición a la postura de Aristóteles, según la cual el conocimiento de la naturaleza es un fin en sí mismo. Es este énfasis en el control de las fuerzas naturales lo que más claramente aparta a la filosofía de Bacon de la filosofía aristotélica cuyo predominio esperaba anular.

El énfasis en la aplicación práctica del conocimiento científico explica gran parte de las polémicas excesivamente hostiles de Bacon en contra de Aristóteles. Farrington está en lo cierto al señalar que la hostilidad de Bacon refleja repudio *moral*: la filosofía de Aristóteles no sólo no ha conducido a nuevas obras en beneficio de la humanidad, sino que también ha frustrado los pocos intentos que se han hecho[29]. Por el contrario, Bacon ensalzó el progreso que se había logrado en las distintas tradiciones artesanas, y citó los inventos de la imprenta, la pólvora y la brújula como ejemplos de lo que podían conseguir los hombres que no se encuentran bajo el hechizo de los ídolos del teatro.

---

[29] Véase Benjamin Farrington, *The Philosophy of Francis Bacon* (La filosofía de Francis Bacon) (Liverpool: Liverpool University Press, 1964), 30 [edición cast., *Francis Bacon, filósofo de la revolución industrial;* Madrid, Ayuso 1971 (trad. por R. Ruiz de la Cuesta)].

Un aspecto importante de la nueva visión de Bacon de la ciencia es que la recuperación por parte del hombre del dominio sobre la naturaleza sólo es posible a través de la investigación cooperativa. Al servicio de esta convicción, Bacon hizo numerosos intentos para introducir reformas administrativamente. Dirigió sus súplicas para el apoyo a proyectos cooperativos casi exclusivamente a la corona y a sus ministros, en lugar de hacerlo a las universidades, estrategia que refleja lo bajísima que era su estimación por la vida académica de su tiempo. Pero no consiguió éxito. Su visión de la investigación cooperativa fructificó sólo en la generación siguiente, cuando la Royal Society se encargó de convertir en realidad, no sólo la actitud general de Bacon hacia la ciencia, sino también varios de sus proyectos específicos.

Un aspecto más de la nueva visión baconiana de la ciencia es el divorcio entre la ciencia, por una parte, y la teleología y la teología natural, por otra. Bacon restringió la investigación sobre las causas finales a los aspectos volitivos de la conducta humana, observando que la búsqueda de las causas finales de los fenómenos físicos y biológicos conduce a discusiones puramente verbales que impiden el progreso científico [30]. La exclusión por parte de Bacon de las causas finales de la ciencia natural refleja su insistencia en que el científico se convierta de nuevo en un niño frente a la naturaleza. Mirar la naturaleza a través del prisma de la adaptación para un propósito, ya esté ordenada por la divinidad o no, es dejar de tratar con la naturaleza en sus propios términos. Preocuparse por la pregunta «¿con qué propósito?» hace improbable el descubrimiento de las formas y la consiguiente mejora de la condición humana.

III. Descartes

René Descartes (1596-1650) asistió al Colegio Jesuita de La Flèche y se licenció en leyes en la universidad de Poitiers en 1616. Pero debido a que participaba de una considerable fortuna familiar, no le fue necesario practicar sus conocimientos legales. Descartes estaba muy interesado en las matemáticas, la ciencia y la filosofía, y decidió combinar sus propósitos intelectuales con los viajes. Pasó varios años viajando por Europa, frecuentemente como caballero voluntario en diversos ejércitos.

En 1618 Descartes conoció al físico Isaac Beeckman, quien animó a Descartes a realizar estudios de matemática teórica. Descartes respondió estableciendo los fundamentos de la geometría analítica, en las que las propiedades de las superficies geométricas se expresan en ecuaciones algebraicas.

En noviembre de 1619, después de un período de esfuerzo intelectual particularmente intenso, Descartes tuvo tres sueños, cuya interpretación influyó grandemente en su vida. Creyó que había sido llamado por el Espíritu de la

30 F. Bacon, *Novum Organum*, II, Aforismo II.

Verdad para reconstruir el conocimiento humano de tal manera que incorporase la certeza que hasta entonces sólo poseían las matemáticas.

Descartes estableció su residencia en Holanda en 1628, y permaneció allí, excepción hecha de algunas breves visitas a Francia, hasta 1649. Preparó un tratado —*Le Monde (El mundo)*— en el que daba una interpretación mecanicista del universo, en la que todos los cambios eran causados por choques o por presión. Sin embargo, guardó el manuscrito al ver que la Inquisición condenaba a Galileo. Decidió preparar la base para la aceptación de *Le Monde* mediante otras publicaciones. Entre éstas se encuentran el *Discurso del Método* (1637), al cual iban añadidos tratados de geometría, óptica y meteorología, como ejemplos de la aplicación del método, las *Meditaciones Metafísicas* (1641) y los *Principios de Filosofía* (1644). *Le Monde* se publicó póstumamente en 1664.

En 1649 Descartes aceptó una invitación para convertirse en profesor de filosofía en la corte de la Reina Cristina de Suecia. Murió al año siguiente.

Inversión de la teoría del procedimiento de Francis Bacon

Descartes coincidía con Francis Bacon en que el mayor logro de la ciencia es una pirámide de proposiciones, con los principios más generales en el vértice. Pero mientras que Bacon buscaba descubrir las leyes generales mediante un progresivo ascenso inductivo a partir de las relaciones menos generales, Descartes pretendía comenzar por el vértice y llegar lo más abajo posible mediante un procedimiento deductivo. Descartes, al contrario que Bacon, se adhería al ideal de Arquímedes de una jerarquía deductiva de proposiciones.

Descartes exigía certeza para los principios generales del vértice de la pirámide. Al servicio de esta exigencia de certeza, comenzó por dudar metódicamente de todos los juicios que previamente había creído verdaderos, con el fin de ver si alguno de estos principios estaba más allá de la duda. Concluyó que algunos de sus juicios estaban realmente más allá de la duda, que, en tanto pensaba, debía existir, y que debía existir un Ser Perfecto.

Descartes argumentó que un Ser Perfecto no crearía al hombre de tal modo que sus sentidos y su razón le engañasen sistemáticamente. De este modo, debía existir un universo externo al yo pensante, un universo no opaco a las facultades cognoscitivas del hombre. En realidad, Descartes llegó más lejos, y sostuvo que cualquier idea que se presentase a la mente a la vez de modo claro y distinto debía ser verdadera.

Según Descartes, lo claro es lo que se presenta de modo inmediato a la mente. Lo distinto, por otro lado, es lo que es a la vez claro e incondicionado. Lo distinto se conoce *per se*; su evidencia es independiente de cualesquiera condiciones limitadoras. Por ejemplo, yo puedo tener una idea clara de la «quebradura» de un palo parcialmente sumergido en el agua, sin comprender los factores responsables de la apariencia de «quebradura». Pero para conseguir una

idea distinta de la «quebradura» del palo, debo haber entendido la ley de refracción y el modo en que ésta se aplica a este caso particular.

Cualidades primarias y cualidades secundarias

Después de haber establecido su propia existencia como ser pensante, y la existencia de un Dios benevolente que garantiza la verdad de aquello que se presenta clara y distintamente a la mente, Descartes volvió su atención hacia el universo creado. Pretendía descubrir qué era lo claro y distinto respecto de los objetos físicos. Comentando el fundirse de un pedazo de cera, declaró que

> mientras hablo y lo acerco al fuego, lo que queda de sabor es exhalado, el olor se evapora, el color se altera, la figura se destruye, el tamaño aumenta, se convierte en líquido, se calienta, a duras penas se lo puede manipular, y cuando se lo golpea no reproduce sonidos. ¿Permanece la misma cera después de este cambio? Debemos confesar que permanece, nadie diría lo contrario. ¿Qué es, entonces, lo que yo conozco tan distintamente de este pedazo de cera? Ciertamente, no puede ser nada de lo que los sentidos puedan darme noticia, ya que todas aquellas cosas que pertenecen al sabor, olor, vista, tacto y oído, hemos visto que han cambiado, y, sin embargo, permanece la misma cera... haciendo abstracción de todo lo que no pertenece a la cera, veamos que es lo que resta. Ciertamente, no resta nada, excepto una determinada cosa extensa que es flexible y movible [31].

Pero, ¿cómo llegamos a conocer esta «extensión» que constituye la esencia del pedazo de cera? Descartes sostenía que nuestro conocimiento de la extensión —la «naturaleza real» de la cera— es una intuición de la mente. Y esta intuición de la mente ha de ser distinguida de la secuencia de apariencias que la cera presenta a nuestros sentidos. Descartes, como Galileo, distinguía entre aquellas «cualidades primarias» que todo cuerpo debe poseer para ser un cuerpo, y las «cualidades secundarias» —colores, sonidos, sabores, olores— que existen sólo en la experiencia perceptiva del sujeto.

Descartes razonó que, si la extensión es la única propiedad de los cuerpos de la que poseemos una idea clara y distinta, ser un cuerpo es ser extenso. El vacío no puede existir. Para Descartes «extensión» significaba «estar lleno de la materia», y concluía que el concepto «extensión desprovista de toda materia» es una contradicción» [32].

---

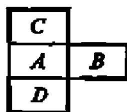
[31] René Descartes, *Meditations on First Philosophy*, en *The Philosophical Works of Descartes* (Las obras filosóficas de Descartes), trad. y ed. por E. S. Haldane y G. R. T. Ross (Nueva York: Dover Publication, 1955), vol. I, 154 [ed. cast., *Meditaciones metafísicas;* Madrid, Alfaguara, 1977 (edición de Vidal Peña)].

[32] Descartes, *The Principles of Philosophy*, Haldane and Ross, I, 260-63 [ed. cast., *Los principios de la filosofía;* Madrid, Reus, 1925 (trad. Juliana Izquierdo y Moya)].

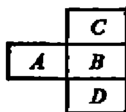
Pero aunque negaba que el vacío pueda existir en la naturaleza, Descartes afirmó determinadas implicaciones metodológicas del atomismo clásico. Pretendía interpretar los procesos macroscópicos en términos de interacciones submacroscópicas. Un ejemplo de esto es su interpretación de la atracción magnética. Descartes atribuía la atracción de un imán sobre un trozo de hierro a la emisión por el imán de partículas invisibles en forma de tornillo que pasaban a través de canales roscados existentes en el hierro, provocando de ese modo que se moviera. Además, Descartes afirmó el ideal atomista de la explicación de los cambios cualitativos en el nivel macroscópico en términos de cambios puramente cuantitativos en el nivel submacroscópico. Limitaba el objeto de la ciencia a aquellas cualidades que pueden expresarse de forma matemática y ser comparadas como proporciones.

Por tanto, la visión cartesiana de la ciencia combinaba los puntos de vista de Arquímedes, los pitagóricos y los atomistas. Para Descartes, el ideal de la ciencia es una jerarquía deductiva de proposiciones, cuyos términos descriptivos hacen referencia a los aspectos estrictamente cuantificables de la realidad, a menudo en un nivel submacroscópico. No cabe duda de que fue llevado a aceptar este ideal por su éxito temprano al formular la geometría analítica. Descartes reclamaba matemáticas universales para descubrir los secretos del universo, del modo en que su geometría analítica había reducido las propiedades de las superficies geométricas a ecuaciones algebraicas.

Por desgracia para este programa, Descartes también usó el término «extensión» en un segundo sentido. Con el fin de describir los movimientos de los cuerpos, se refería a los cuerpos como ocupando primero un espacio y después otro. Por ejemplo, si los cuerpos *A* y *B* se hallan limitados sucesivamente por los cuerpos *C* y *D*, Descartes diría que *B* se había movido al «espacio» dejado vacante por *A*.



t



$t + \Delta t$

Pero este «espacio» o «porción de extensión» no es idéntica a ningún cuerpo específico. «Espacio», en este sentido, es una relación que un cuerpo mantiene con otros cuerpos. Este uso dual de «exten-

sión» es un serio equívoco. Según las propias normas de Descartes, se debe juzgar que no consiguió una idea clara y distinta de «extensión», su categoría fundamental para la interpretación del universo.

Las leyes científicas generales

Sea como sea, Descartes procedió a derivar varios principios físicos importantes a partir de su comprensión de la extensión. Buchdahl ha señalado que Descartes parecía creer que, debido a que los conceptos de extensión y movimiento son claros y distintos, ciertas generalizaciones sobre estos conceptos son verdades *a priori* [33]. Una de estas generalizaciones es que todo movimiento está causado por un choque o por una presión. Descartes mantenía que, si el vacío no puede existir, un cuerpo dado se encuentra continuamente en contacto con otros cuerpos. Le parecía que el único modo en que un cuerpo puede moverse es que los cuerpos adyacentes de un lado ejerzan una presión mayor que los cuerpos adyacentes del otro. Al restringir las causas del movimiento al choque y la presión, negaba la posibilidad de una acción a distancia. Descartes defendía una concepción totalmente mecanicista de la causalidad.

La doctrina mecanicista de Descartes fue una doctrina revolucionaria en el siglo XVII. Muchos pensadores que la aceptaron creyeron que era más científica que opiniones rivales que tomaban en consideración cualidades «ocultas», como fuerzas magnéticas y fuerzas gravitatorias. Desde el punto de vista cartesiano, decir que un cuerpo se movía hacia un imán debido a alguna fuerza ejercida por el imán no es explicar nada. Lo mismo se podría decir que el cuerpo se mueve hacia el imán debido a que desea abrazarlo.

Otro principio físico importante derivado de la idea de extensión es que todo movimiento consiste en una redistribución cíclica de los cuerpos. Descartes razonaba que, si un cuerpo cambia su «situación», se hace necesario un desplazamiento simultáneo de otros cuerpos para impedir el vacío. Más aún, sólo moviéndose en un rizo cerrado un número finito de cuerpos pueden alterar sus posiciones sin crear un vacío.

Descartes mantenía que Dios es la causa última del movimiento en el universo. Creía que un Ser Perfecto crearía un universo «todo de una vez» [34]. Descartes concluía que, puesto que la materia del

---

[33] Gerd Buchdahl, *Metaphysics and the Philosophy of Science* (La metafísica y la filosofía de la ciencia) (Oxford: Blackwell, 1969). 125.

[34] Descartes no explicó por qué un Ser Perfecto, necesariamente, optaría por un acto único de creación, en lugar de una creación continuada de materia y movimiento.

universo se había puesto en movimiento de una vez, el Ser Perfecto aseguraría que este movimiento se conservase perpetuamente. De otro modo, el universo se parecería a un reloj que eventualmente deja de andar, al producto de un obrero demasiado humano.

A partir de este principio más general del movimiento, Descartes derivó otras tres leyes del movimiento:

Ley I.—Los cuerpos en reposo permanecen en reposo, y los cuerpos en movimiento permanecen en movimiento, salvo que algún otro cuerpo actúe sobre ellos.

Ley II.—El movimiento inercial es un movimiento en línea recta [35].

Ley III (A).—Si un cuerpo en movimiento choca con un segundo cuerpo, el cual tiene una resistencia al movimiento mayor que la fuerza que el primer cuerpo tiene para continuar su propio movimiento, entonces el primer cuerpo cambia de dirección sin perder nada de su movimiento.

Ley III (B).—Si el primer cuerpo tiene más fuerza que el segundo resistencia, entonces el primer cuerpo arrastra con él al segundo, perdiendo tanto movimiento como ceda al segundo.

A continuación Descartes dedujo de estas tres leyes siete reglas del choque para tipos específicos de colisiones. Estas reglas son incorrectas, en gran medida porque Descartes consideró que el tamaño, y no el peso, era el factor determinante en las colisiones. De estas reglas del choque, la cuarta es quizás la más notable. Establece que, prescindiendo de su velocidad, un cuerpo en movimiento no puede mover un cuerpo estacionario de mayor tamaño. Al enunciar lo que él pensaba que implican los conceptos «extensión» y «movimiento», Descartes formuló un conjunto de reglas que se hallan en conflicto con los movimientos observados de los cuerpos.

Descartes proclamó que las leyes científicas que había elaborado eran consecuencias deductivas de sus principios filosóficos. En el *Discurso del Método* escribió:

> He intentado primero descubrir de manera general los principios o causas primeras de cualquier cosa que exista o pueda existir en el mundo, sin considerar que nada puede servir para este fin, excepto el mismo Dios que ha creado el mundo, y sin derivarlos de ninguna fuente, a excepción de ciertos gérmenes de verdad que existen de modo natural en nuestras almas [36].

---

35 Y no, como había sostenido Galileo, movimiento circular.

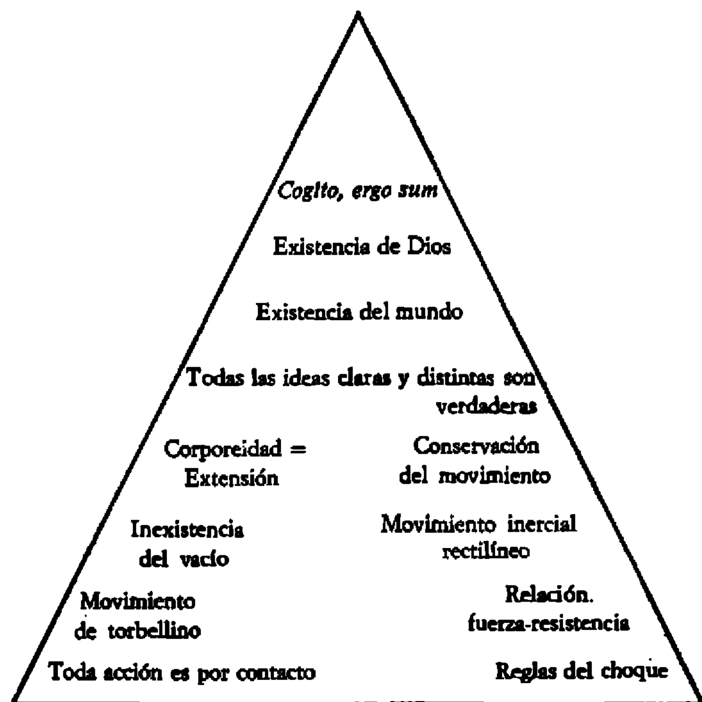
36 Descartes, *Discourse on the Method of Rightly Conducting the Reason*, Haldane and Ross, I, 121 [ed. cast. *Discurso del método;* Madrid, Alianza, 1979 (Edición de Risieri Frondizi)].

Gran parte del atractivo de la filosofía cartesiana deriva de la amplitud de su campo. Comenzando con principios metafísicos teístas y creacionistas, Descartes procedió a derivar las leyes generales del universo. La versión cartesiana de la pirámide de las verdades científicas se muestra más abajo.

Enfasis empírico en la filosofía de la ciencia de Descartes

Las limitaciones de la deducción «a priori»

Descartes se dio cuenta de que, por medio de la deducción, sólo se podría llegar a una corta distancia del vértice de la pirámide. La deducción a partir de principios intuitivamente evidentes es de limitada utilidad para la ciencia. Puede dar lugar tan sólo a las leyes más generales. Además, puesto que las leyes fundamentales del mo-



Pirámide de Descartes

vimiento sólo colocan límites a lo que puede suceder en ciertos tipos de circunstancias, innumerables secuencias de acontecimientos son compatibles con estas leyes. Dicho en términos generales, el universo que conocemos sólo es uno de los universos infinitamente numerosos que podrían haberse creado de acuerdo con estas leyes.

Descartes señaló que no se puede determinar, a partir de la mera consideración de las leyes generales, el curso de los procesos físicos. La ley de conservación del movimiento, por ejemplo, estipula que, cualquiera que sea el proceso que se considere, no se produce ninguna pérdida de movimiento. Pero el modo exacto en que se distribuye el movimiento entre los cuerpos involucrados debe determinarse para cada tipo de proceso. Para deducir un enunciado acerca de un efecto particular, es necesario incluir entre las premisas información sobre las circunstancias en las que ocurre el efecto. En el caso de la explicación de un proceso fisiológico, por ejemplo, las premisas deben incluir información específica sobre la estructura anatómica, además de las leyes generales del movimiento. De este modo, un papel importante de la observación y experimentación en la teoría de Descartes del método científico es el de proporcionar el conocimiento de las condiciones en las que tienen lugar los acontecimientos de un tipo dado.

Es en este punto en el que cobra valor el programa baconiano de reunir historias naturales y buscar correlaciones entre los fenómenos. Descartes concedió todo esto a la ciencia baconiana. Negó, sin embargo, que fuese posible establecer leyes importantes de la naturaleza mediante el cotejo y la comparación de casos observados.

El papel de las hipótesis en la ciencia

Un segundo papel importante de la observación y experimentación en la teoría del método científico de Descartes es el de sugerir hipótesis que especifiquen mecanismos que sean compatibles con las leyes fundamentales. Descartes sostenía que una hipótesis se justifica por su capacidad, en conjunción con las leyes fundamentales, para explicar fenómenos. La hipótesis debe ser compatible con las leyes fundamentales, pero su contenido específico ha de ser ajustado con el fin de permitir la deducción de enunciados sobre los fenómenos en cuestión.

Con frecuencia, Descartes sugirió hipótesis basadas en analogías extraídas de las experiencias cotidianas. Comparaba los moviniientos de los planetas con los giros de pedacitos de corcho cautivos en un torbellino, la reflexión de la luz con los rebotes de pelotas de tenis en superficies duras y la acción del corazón con la generación de ca-

lor en los henales. En cada caso, la analogía con la experiencia cotidiana era de importancia decisiva en la teoría resultante.

Es bastante probable que el uso de analogías gráficas de este tipo contribuyera a la popularidad de su teoría del universo. Pero lo más frecuente fue que la confianza en tales analogías extraviase a Descartes.

Un ejemplo oportuno es su explicación de la circulación de la sangre. Descartes se aferró a una analogía inapropiada, e ignoró las pruebas experimentales que estaban en contra de la analogía. De acuerdo con Descartes, el corazón, que genera calor según el modelo de generación espontánea de los henales, evapora la sangre venosa según ésta va entrando en él, expandiendo de este modo el corazón y propeliendo la sangre dentro del sistema arterial. La explicación de Descartes es opuesta a los hechos. William Harvey había mostrado experimentalmente que el pulso de la sangre en las arterias va acompañado de una *contracción* del corazón. Descartes había leído el libro de Harvey sobre la circulación y lo había alabado, pero, a pesar de todo, prefirió defender su propia hipótesis [37].

Confirmación experimental

El punto en el que la teoría del método científico de Descartes es más vulnerable es el de la confirmación experimental. Claramente, al menos de labios para afuera, apoyó la confirmación experimental. Reconoció, por ejemplo, que un enunciado acerca de un tipo de fenómenos puede deducirse a partir de más de un conjunto de premisas explicativas, v. g.:

Leyes de la naturaleza
enunciado sobre las circunstancias relevantes
hipótesis 1

$\therefore E$

Leyes de la naturaleza
enunciado sobre las circunstancias relevantes

$\therefore E$

En tales casos, especificó Descartes que deben buscarse *otros* efectos, de tal manera que sean deducibles de las premisas que incluyen

[37] Ibid., I. 112.

la hipótesis 1, pero que no lo sean a partir de las premisas que incluyen la hipótesis 2 (o viceversa).

Sin embargo, la práctica de Descartes no estuvo a menudo a la altura de los elaborados razonamientos de sus escritos sobre el método. En general, tendió a considerar la experimentación como una ayuda para formular explicaciones, más que como la piedra de toque de la adecuación de tales explicaciones.

A pesar del hecho de que las interpretaciones de Descartes con frecuencia no se ajustaron a los hechos, su teoría del universo poseyó un gran atractivo. Concedió el peso debido tanto al deseo de certeza como a la conciencia de la complejidad de los fenómenos. Las leyes generales de la naturaleza eran, supuestamente, consecuencias deductivas de verdades necesarias que debían ser reconocidas por cualquier individuo reflexivo [38]. Y si «cantidad de movimiento» se interpreta como «momento», tal como Malebranche insistía, las reglas del choque resultantes dejan de estar en conflicto con la experiencia. Pero estas leyes generales explican los fenómenos sólo en conjunción con información factual específica, y a menudo, con hipótesis. Era posible eliminar las discrepancias entre teoría y observación alterando las hipótesis asociadas, conservando así intactas las leyes generales de la naturaleza. La existencia de esta flexibilidad dentro del sistema cartesiano fue una razón de su continuada popularidad (adecuadamente modificada) durante los siglos XVII y XVIII.

---

38 Descartes tuvo cuidado en subrayar que no era necesario que Dios crease el universo de acuerdo con las leyes de la pirámide. Las leyes no son una restricción de la actividad creadora de Dios. En verdad, Descartes sostenía que está dentro de los poderes divinos el crear un mundo en el que existiesen contradicciones. Por ejemplo, Dios podría haber creado un mundo en el que un círculo tuviese radios de diferentes longitudes, y en el que existiesen las montañas sin valles [39]. No es necesario decir que esta posibilidad está más allá del entendimiento *humano*. Sin embargo, Descartes sostenía consecuentemente que la esencia de los fenómenos naturales es la extensión y el movimiento. Y habló con frecuencia como si las leyes fundamentales del movimiento —para este mundo, que es aquel que Dios creó— no pudiesen ser otras que las que son. Estas leyes no son meras generalizaciones empíricas sobre lo que se ha observado; más bien enuncian clara y distintamente visiones de la estructura del universo.

39 Descartes, «Letter to Mersenne» (Carta a Mersenne) (27 mayo 1630), «Letter for Arnauld» (Carta para Arnauld) (29 julio 1648), en *Descartes-Philosophical Letters* (Descartes-Cartas filosóficas), trad. y ed. por A. Kenny (Oxford Clarendon Press, 1970), 15, 236-37.

Capítulo 8

EL METODO AXIOMATICO DE NEWTON

Isaac Newton (1642-1727) nació en Woolsthorpe (Lincolnshire). Su padre, hacendado, murió antes del nacimiento de Isaac. La madre de Newton volvió a casarse cuando él tenía tres años, y su crianza fue en gran medida confiada a una abuela, hasta la muerte de su padrastro en 1653.

Newton asistió al Trinity College, en Cambridge, y recibió el grado de Bachiller en Artes en 1665. Durante el período 1665-1667, Newton permaneció en Woolsthorpe para eludir la peste. Fue éste un período de gran creatividad, en el que Newton formuló el teorema del binomio, desarrolló el «método de las fluxiones» (análisis), construyó el primer telescopio de reflexión y llegó a comprender la naturaleza *universal* de la atracción gravitatoria.

Newton fue nombrado Profesor de Matemáticas en Cambridge en 1669, y elegido miembro de la Royal Society en 1672. Poco después comunicó a la Sociedad sus hallazgos sobre las propiedades de la refracción de la luz. A esto siguió un prolongado debate con Robert Hooke y otros. La controversia con Hooke se intensificó con la publicación de los *Mathematical Principles of Natural Philosophy* (Principios matemáticos de la filosofía natural) (1687). Hooke se quejó de que Newton se había apropiado de su tesis de que los movimientos planetarios podían explicarse mediante un principio de inercia rectilíneo en combinación con una fuerza $1/r^2$ ejercida por el Sol. Newton replicó que él había llegado a esa conclusión antes que Hooke, y que sólo él podía probar que una ley sobre una fuerza $1/r^2$ conduce a órbitas planetarias elípticas.

Newton se convirtió en Director de la Casa de la Moneda en 1696 y desplegó un considerable talento para la administración. Fue elegido presidente de la Royal Society en 1703, y desde esta ventajosa posición desarrolló una continua disputa con Leibniz acerca de las prioridades en el desarrollo del cálculo infinitesimal. En 1704, Newton publicó su *Opticks* (Optica), modelo de investigación experimental. Incluyó en las «Cuestiones» del final de su libro una exposición de su visión del método científico.

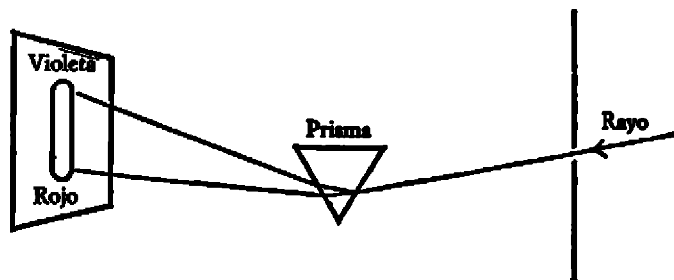
A lo largo de toda su vida, Newton estudió la Biblia desde el punto de vista de su fe Unitaria. Entre sus papeles se han encontrado extensas notas sobre la cronología de los reinos antiguos y la exégesis del libro de Daniel.

El método de análisis y síntesis

Los comentarios de Newton sobre el método científico se dirigían principalmente contra Descartes y sus seguidores. Descartes había pretendido derivar las leyes físicas básicas a partir de principios metafísicos. Newton se opuso a este método de teorizar sobre la naturaleza. Insistió en que el filósofo natural debe basar sus generalizaciones en un examen cuidadoso de los fenómenos. Newton declaró que «aunque el argumentar mediante la inducción a partir de experimentos y observaciones no es una demostración de las conclusiones generales, sin embargo es el mejor modo de argumentar que admite la naturaleza de las cosas» [1].

Newton se opuso al método cartesiano afirmando la teoría del procedimiento científico de Aristóteles. Se refería a este procedimiento inductivo-deductivo como «método de análisis y síntesis». Insistiendo en que el procedimiento científico debe incluir tanto una etapa inductiva como una etapa deductiva, Newton afirmó una posición que habían defendido Grosseteste y Roger Bacon en el siglo XIII y también Galileo y Francis Bacon a comienzos del siglo XVII.

El tratamiento que Newton hizo del procedimiento inductivo-deductivo fue superior al que hicieron sus predecesores en dos as-



Experimento de Newton con un prisma

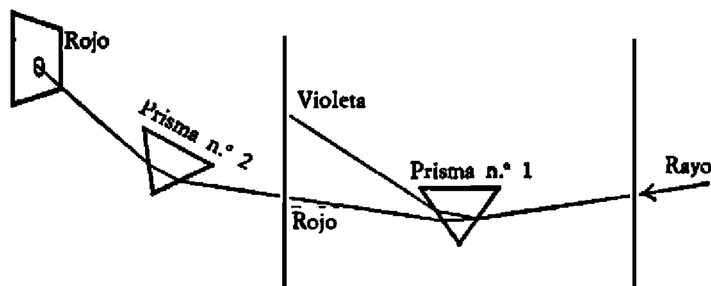
pectos. Destacó consistentemente la necesidad de confirmación experimental de las consecuencias deducidas por síntesis, y enfatizó lo

[1] Isaac Newton, *Opticks* (Nueva York: Dover Publications, 1952), 404 [edición cast., *Optica;* Madrid, Alfaguara, 1977 (Edición de Carlos Solís)].

valioso de deducir consecuencias que vayan más allá de los elementos de juicio inductivos originales.

La aplicación newtoniana del método del análisis y síntesis dio cumplido fruto en las investigaciones de su *Optica*. Por ejemplo, en un experimento ampliamente conocido, Newton hizo pasar un rayo de luz solar a través de un prisma de manera que se produjese un espectro alargado de color sobre la pared de una habitación oscura.

Newton aplicó el método del análisis para inducir el principio explicativo de que la luz del Sol comprende rayos de diferentes colores, y que cada color es refractado por el prisma con un ángulo característico. Esto no fue una simple generalización inductiva por parte de Newton. Newton no afirmó únicamente que todos los prismas, en circunstancias semejantes, producirían espectros como los que él había observado. Su conclusión más importante fue acerca de la naturaleza misma de la luz, y se requiere un «salto inductivo» para concluir que la luz solar está compuesta por rayos que tienen propiedades de refracción diferentes. Después de todo, son posibles otras interpretaciones de los datos. Newton podía haber concluido, por ejemplo, que la luz solar es indivisible y que los colores del espectro son producidos por algún tipo de radiación secundaria en el interior del prisma.



Experimento de Newton con dos prismas

Dada la «teoría» de que la luz solar comprende rayos de colores y propiedades de refracción diferentes, Newton aplicó el método de síntesis para deducir nuevas consecuencias de la teoría. Señaló que si su teoría fuese correcta, entonces, haciendo pasar luz de un determinado color a través de un prisma el resultado sería una inclinación del haz según el ángulo característico de tal color, pero no la división del haz en otros colores. Newton confirmó esta consecuencia

de su teoría de los colores haciendo pasar la luz proveniente de una pequeña banda del espectro a través de un segundo prisma [2].

La generalización inductiva y las leyes del movimiento

Newton también afirmó haber seguido el método de análisis y síntesis en su gran obra sobre dinámica, los *Principios matemáticos de la filosofía natural* (1686). En este volumen, informó que había formulado las tres leyes del movimiento mediante una aplicación del método de análisis. Newton declaró que en la filosofía experimental «las proposiciones particulares se infieren a partir de los fenómenos, y después se generalizan mediante la inducción. Fue así como se descubrieron la impenetrabilidad, la movilidad y la fuerza impulsora de los cuerpos, y las leyes del movimiento y la gravitación» [3].

Newton no se ocupó de la naturaleza del proceso inductivo que va de los fenómenos a las leyes del movimiento pasando por proposiciones particulares. El que sea o no correcto decir que las leyes del movimiento se descubrieron mediante la aplicación del método de análisis depende de la amplitud con que se conciba el término «inducción».

Aristóteles, por ejemplo, admitía la comprensión intuitiva como método inductivo *bona fide*. La teoría del procedimiento de Aristóteles podía, de este modo, dar cuenta de generalizaciones sobre varillas sin peso e infinitamente rígidas, péndulos ideales y movimiento inercial. En verdad, sería difícil encontrar una interpretación científica cuyo origen no pudiera atribuirse a la comprensión intuitiva.

La mayoría de los filósofos naturales, sin embargo, han tenido una visión más restringida de la inducción, limitándola a un pequeño número de técnicas para generalizar los resultados de la observación. Estas técnicas incluyen la enumeración simple y los métodos del acuerdo y la diferencia.

Está claro que las leyes de Newton no se descubrieron por medio de la aplicación de estas técnicas inductivas. Considérese la primera ley. Especifica ésta la conducta de los cuerpos que no se hallan bajo la influencia de ninguna fuerza. Mas tales cuerpos no existen, e incluso si un cuerpo así existiese, no tendríamos conocimiento de él. La observación de un cuerpo requiere la presencia de un observador o de aparatos registradores. Pero, en la propia opinión de Newton,

---

[2] Ibid., 45-8.

[3] Newton, *Mathematical Principles of Natural Philosophy*, trad. por A. Motte, revisado por F. Cajori (Berkeley: University of California Press, 1962), II, 547.

todos los cuerpos del universo ejercen una fuerza de atracción gravitatoria sobre todos los demás cuerpos. Un cuerpo observado no puede estar libre de fuerzas que actúen sobre él. En consecuencia, la ley de inercia no es una generalización acerca de los movimientos observados de los cuerpos particulares; es, más bien, una abstracción a partir de tales movimientos.

Espacio absoluto y tiempo absoluto. Además, Newton mantenía que las tres leyes del movimiento especifican cómo se mueven los cuerpos en el espacio absoluto y en el tiempo absoluto. Esta es una nueva abstracción por parte de Newton. Newton contrastaba el espacio y el tiempo absolutos con sus «medidas sensibles», que se determinan experimentalmente.

La distinción de Newton entre los «movimientos verdaderos» de los cuerpos en el espacio y tiempo absolutos y las «medidas sensibles» de estos movimientos tienen un halo platónico que sugiere una dicotomía entre realidad y apariencia. En opinión de Newton, el espacio y el tiempo absolutos son ontológicamente anteriores a las sustancias individuales y a sus interacciones. Además, pensaba que podía lograrse la comprensión de los movimientos sensibles en términos de movimientos verdaderos en el espacio absoluto.

Newton se daba cuenta de que, para establecer que una medida sensible del movimiento de un cuerpo es su movimiento verdadero o que un movimiento sensible está relacionado de algún modo específico con su movimiento verdadero, sería necesario especificar tanto los intervalos temporales absolutos como las coordenadas en el espacio absoluto. Pero no estaba seguro de que estos requisitos pudieran cumplirse.

Con respecto al tiempo absoluto, Newton declaró que «puede ser que no haya nada como un movimiento uniforme, por el que el tiempo pueda medirse con exactitud. Todos los movimientos pueden ser acelerados o retardados, pero el flujo del tiempo absoluto no está sujeto a ningún cambio»[4]. Sin embargo, Newton indicó que ciertas medidas sensibles del tiempo son preferibles a otras. Sugirió que, para la definición de intervalos temporales, los eclipses de las lunas de Júpiter y las vibraciones de los péndulos son superiores al movimiento aparente del Sol alrededor de la Tierra[5].

Pero incluso si el tiempo absoluto pudiera medirse, todavía sería necesario localizar un cuerpo en el espacio absoluto antes de que pueda determinarse su movimiento absoluto. Newton estaba conven-

---

[4] Ibid., I, 8.
[5] Ibid., I, 7-8.

cido de que el espacio absoluto debía existir, y propuso argumentos tanto teológicos como físicos a favor de su existencia, pero no estaba tan seguro de que pudieran localizarse los cuerpos en este espacio.

Newton mantenía, sobre bases teológicas, que si el universo fue creado *ex nihilo*, debe existir un receptáculo en el que se distribuya la materia creada. Sugirió que el espacio absoluto es un «efecto emanante» del Creador, una «disposición de todo ser» que no es ni un atributo de Dios ni una sustancia coeterna con Dios. Newton criticó la identificación cartesiana de extensión y corporeidad por suministrar un camino al ateísmo, ya que, según Descartes, podemos conseguir una idea clara y distinta de la extensión con independencia de su naturaleza como creación de Dios [6].

El más importante de los argumentos físicos de Newton en favor de la existencia del espacio absoluto fue su análisis del movimiento de un cubo lleno de agua en rotación. Señaló que si un cubo como éste se suspendiese de una cuerda retorcida y se le dejase girar al irse desenrollando la cuerda, la superficie del agua permanecería plana durante un tiempo y sólo gradualmente asumiría una forma cóncava. A la larga, el agua giraría a la misma velocidad que el cubo. El experimento de Newton mostró que la deformación de la superficie del agua no podía ser puesta en correlación con una aceleración del agua en relación al cubo, pues la superficie del agua es sucesivamente plana y cóncava cuando existe esa aceleración relativa, y la superficie del agua puede ser plana o cóncava cuando no existe esa aceleración relativa.

Experimento del cubo de Newton

Acontecimiento	*Aceleración relativa del agua con respecto al cubo en el sistema de coordenadas centrado en la Tierra*	*Superficie del agua*
N.° 1.—Cubo quieto	no	plana
N.° 2.—Cubo suelto	sí	plana
N.° 3.—Rotación máxima	no	cóncava
N.° 4.—Cubo parado	sí	cóncava
N.° 5.—Agua en reposo	no	plana

Newton sostenía que la deformación de la superficie del agua indica que está actuando una fuerza. Y la segunda ley del movimiento asocia fuerza con aceleración. Pero esta aceleración del agua, ¿con respecto a qué es aceleración? Newton concluyó que dado que la aceleración asociada con la deformación no es una aceleración rela-

[6] Newton, *Unpublished Scientific Papers of Isaac Newton* (Escritos científicos inéditos de Isaac Newton), trad. y ed. por A. R. Hall y M. B. Hall (Cambridge: Cambridge University Press, 1962), 132-43.

tiva al cubo, debe ser una aceleración con respecto al espacio absoluto [7].

Posteriormente, numerosos escritores han señalado que la conclusión de Newton no se sigue de sus hallazgos experimentales. Ernst Mach, por ejemplo, sugirió que la deformación estaría correlacionada, no con una aceleración con respecto al espacio absoluto, sino con una aceleración con respecto a las estrellas fijas [8].

Sin embargo, incluso si Newton estuviese en lo cierto al concluir que el experimento del cubo demuestra la existencia de un movimiento absoluto, esto no sería suficiente para especificar un sistema de coordenadas para localizar posiciones en el espacio absoluto. Newton concedía esto. Más aún, admitía que podía no haber ningún cuerpo que estuviese en reposo con respecto al espacio absoluto y que pudiera servir como punto de referencia para medir distancias en este espacio [9].

Newton admitió, de este modo, que tal vez no sea posible conseguir una correspondencia totalmente satisfactoria entre los movimientos observados y los verdaderos movimientos en el espacio absoluto. Su discusión explícita de este problema de correspondencia indica que en los *Principia* siguió un método axiomático y no el método inductivo de análisis.

Un método axiomático

Son tres las etapas del método axiomático de Newton. La primera etapa es la formulación de un sistema axiomático. En opinión de Newton, un sistema axiomático es un grupo deductivamente organizado de axiomas, definiciones y teoremas. Los axiomas son proposiciones que no pueden deducirse de otras proposiciones en el interior del sistema, y los teoremas son las consecuencias deductivas de estos axiomas. Las tres leyes del movimiento son los axiomas de la teoría newtoniana de la mecánica. Estipulan relaciones invariantes entre términos como «movimiento uniforme y rectilíneo», «cambio de movimiento», «fuerza aplicada», «acción» y «reacción». Los axiomas son:

---

7 Newton, *Mathematical Principles*, I, 10-1.

8 Ernst Mach, *The Science of Mechanics*, traducido por J. S. McCormack (La Salle: Open Court Publishing Co., 1960), 271-97 [ed. cast. *Desarrollo histórico-crítico de la mecánica;* Buenos Aires, Espasa-Calpe, 1949 (trad. por José Babini)].

9 Newton, *Mathematical Principles*, I, 8.

I. Todo cuerpo continúa en su estado de reposo o de movimiento uniforme y rectilíneo, salvo que se vea obligado a cambiar de estado por la acción de fuerzas que actúen sobre él.
II. El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza aplicada; y se efectúa en la dirección de la línea recta en la que se aplica la fuerza.
III. A toda acción se opone siempre una reacción igual; o las acciones mutuas de dos cuerpos son siempre iguales, y dirigidas en sentidos contrarios [10].

Newton distinguió cuidadosamente las «magnitudes absolutas» que aparecen en los axiomas de las «medidas sensibles», que se determinan experimentalmente. Los axiomas son los *principios matemáticos* de la filosofía natural que describen los movimientos verdaderos de los cuerpos en el espacio absoluto.

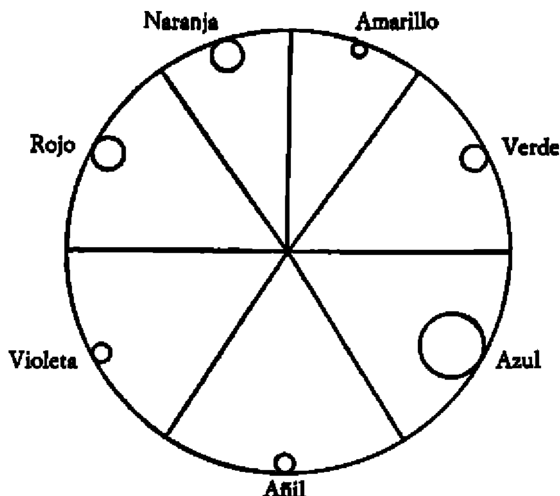
La segunda etapa del método axiomático es especificar un procedimiento para correlacionar los teoremas del sistema axiomático con las observaciones. Newton exigió normalmente que los sistemas axiomáticos estuviesen ligados a los sucesos del mundo físico.

Sin embargo, sometió a consideración una teoría de la mezcla de colores en la que el sistema axiomático no estaba adecuadamente ligado a la experiencia [11]. Newton especificó que debía dibujarse un círculo y subdividirlo en siete sectores —uno para cada uno de los «colores principales» del espectro—, de tal modo que los anchos de los sectores fuesen proporcionales a los intervalos musicales de la octava. Especificó además que el «número de rayos» de cada color de la mezcla debe representarse mediante un círculo de mayor o menor radio situado en el punto medio del arco de cada color presente en la mezcla. Newton indicó que el centro de gravedad de estos círculos da el color resultante de la mezcla.

El axioma de Newton referente al corte de la tarta satisfaciendo las armonías musicales es una reminiscencia de las especulaciones pitagóricas de Kepler. El axioma no es, ciertamente, una generalización inductiva. No obstante, aunque no existen pruebas en apoyo del axioma sobre el corte de la tarta, la teoría podría ser útil si los resultados de la mezcla de colores pudieran calcularse a partir de él. Pero Newton no consiguió proporcionar una interpretación empírica para la expresión «número de rayos». Puesto que no estipuló cómo han de determinarse los diámetros de los círculos, la teoría de Newton de la mezcla de colores no tiene significado empírico.

---

[10] Ibid., I, 13.
[11] Newton, *Opticks*, 154-58.



Teoría de Newton de la mezcla de colores

La mecánica de Newton, por otra parte, sí tiene significado empírico. Vinculó su sistema axiomático para la mecánica con sucesos del mundo físico. Consiguió la ligazón exigida seleccionando «reglas de correspondencia» para la conversión de enunciados acerca de los intervalos espaciales y temporales absolutos en enunciados sobre los intervalos espaciales y temporales medidos.

En el caso de los intervalos espaciales, Newton afirmó como «hipótesis» que el centro de gravedad del sistema solar es inmóvil, y por lo tanto constituye un punto adecuado de referencia para la determinación de distancias absolutas. De este modo fue capaz de aplicar su sistema axiomático a los movimientos reales seleccionando un sistema de coordenadas cuyo origen era el centro de gravedad del sistema solar.

I. Bernard Cohen ha sugerido que Newton, en este contexto, entendía por «hipótesis» una proposición que era incapaz de probar [12]. Pero aunque Newton fuese incapaz de probar que el centro de gravedad del sistema solar es inmóvil, su hipótesis es coherente con su interpretación del experimento del cubo. En esta interpretación, el retroceso del agua hacia las paredes del cubo es una aceleración con respecto al espacio absoluto. Según Newton, esta aceleración centrífuga tipifica los efectos que distinguen los movimientos

12 I. Bernard Cohen, *Franklin and Newton* (Franklin y Newton) (Filadelfia, Pa.: The American Philosophical Society, 1956), 139.

con respecto al espacio absoluto de los movimientos meramente relativos [13]. Newton pensaba que «el movimiento que causa que la Tierra tienda a alejarse del Sol» es, de igual modo, un movimiento absoluto [14]. Puesto que el centro de gravedad del sistema solar es el «centro» de este movimiento de revolución (al menos en la medida en que el movimiento es aproximadamente circular), la hipótesis de Newton se ajusta a sus opiniones sobre el movimiento absoluto.

En el caso de los intervalos temporales, Newton no especificó que ningún proceso periódico debiera tomarse como medida del tiempo absoluto. Sin embargo, leyendo entre líneas, se puede interpretar a Newton en el sentido de que sugirió un procedimiento para ligar el tiempo absoluto con sus medidas sensibles. Tal lazo podría establecerse examinando secuencias dependientes del tiempo que se hubieran determinado utilizando varios métodos diferentes para medir el tiempo. Por ejemplo, si la relación distancia-tiempo en el caso de las bolas que descienden rodando por planos inclinados es «más regular» cuando se mide el tiempo por las oscilaciones de un péndulo que cuando se mide por el peso del agua que fluye por un agujero practicado en una vasija, entonces el reloj de péndulo es la mejor «medida sensible» del tiempo absoluto [15].

Newton, por tanto, distinguió cuidadosamente entre el carácter abstracto de un sistema axiomático y su aplicación a la experiencia. Esta distinción puede ilustrarse como se ve en la página siguiente:

Newton usó la distinción entre un sistema axiomático y su aplicación a la experiencia a lo largo de los *Principia*. En la sección sobre la dinámica de los fluidos, por ejemplo, distinguió la «dinámica matemática», en la que los movimientos se describen en varias condiciones de resistencia hipotéticas, de su aplicación a la experiencia. Una aplicación de la dinámica matemática se consigue después de la determinación experimental de cómo la resistencia de un medio específico varía según la velocidad de un cuerpo que se mueve a través de él. Esta distinción entre un sistema axiomático y su aplicación empírica fue una de las contribuciones más importantes de Newton a la teoría del método científico. Elevó a un nuevo nivel de elaboración el ideal de sistematización deductiva del conocimiento científico.

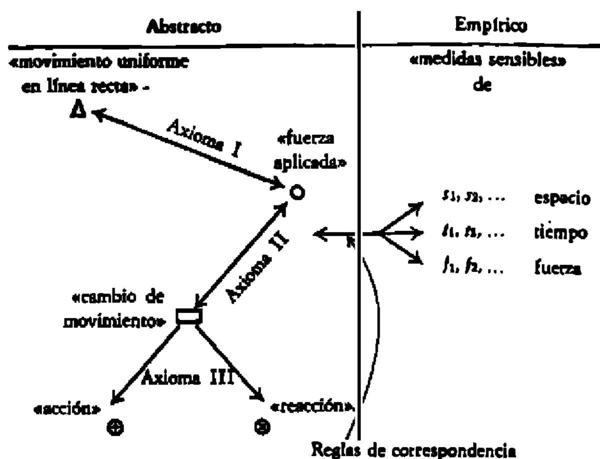
La tercera etapa del método axiomático de Newton es la confir-

---

13 Newton, *Mathematical Principles*, L, 10.

14 Newton, *Unpublished Scientific Papers*, 127.

15 Por ejemplo, véase S. Toulmin, «Newton on absolute Space, Time, and Motion», *Phil. Rev.*, 68 (1959); E. Nagel, *The Structure of Science* [ed. castellana, *La estructura de la ciencia;* Buenos Aires, Paidós, 1962 (trad. por Néstor Míguez)] (Nueva York: Harcourt, Brace and World, 1961), 179-83.



1. El centro de gravedad del sistema solar se considera el centro del espacio absoluto.
2. Selección de la «mejor medida» del tiempo absoluto.
3. Los cuerpos en movimiento concebidos como sistemas de un número infinitamente grande de masas puntuales.
4. Especificación de los procedimientos experimentales para medir los valores de las fuerzas aplicadas.

El sistema axiomático interpretado de Newton para la mecánica

mación de las consecuencias deductivas del sistema axiomático empíricamente interpretado. Una vez que se especifica el procedimiento para ligar los términos del sistema axiomático con los fenómenos, el investigador debe procurar establecer el acuerdo entre los teoremas del sistema axiomático y los movimientos observados de los cuerpos.

El propio Newton consiguió un extenso acuerdo entre su sistema axiomático empíricamente interpretado para la mecánica y los movimientos de los cuerpos celestes y terrestres. Un ejemplo de esto lo constituyen sus experimentos con péndulos que chocan. Newton mostró que después de hacer las correcciones apropiadas por la resistencia del aire, la acción y la reacción son iguales, independientemente de si las lentejas de los péndulos están construidas de acero, cristal, corcho o lana.

De este modo, Newton propuso y practicó *dos* teorías del procedimiento científico: el método de análisis y síntesis y un método axiomático. Yo creo que no es restarle méritos al genio de Newton señalar que él no tuvo clara, de un modo consecuente, la distinción entre estas dos teorías del procedimiento.

El método de análisis y síntesis y el método axiomático comparten como objetivo común la explicación y predicción de fenómenos.

Pero difieren en un aspecto importante, en particular si se elige una visión estrecha acerca de las técnicas calificadas como «inducción». El filósofo natural que sigue el método del análisis pretende generalizar a partir de los resultados de la observación y la experimentación. El método axiomático, por el contrario, pone mayor énfasis en la imaginación creadora. El filósofo natural que adopta este método puede partir de cualquier punto, pero el sistema axiomático que crea sólo es relevante para la ciencia si puede ligarse con lo que puede ser observado.

«Hypotheses non fingo»

Newton coincidía con Galileo en que el objeto propio de la física son las cualidades primarias. Según Newton, el punto de partida y llegada de la investigación científica es la determinación de los valores de las «cualidades manifiestas», aquellos aspectos de los fenómenos que pueden medirse.

Newton pretendía restringir el contenido de su «filosofía experimental» a enunciados sobre cualidades manifiestas, «teorías» derivadas de estos enunciados e interrogantes que guíen las investigaciones posteriores. En particular, pretendía excluir las «hipótesis» de la filosofía experimental.

El uso newtoniano de los términos «teoría» e «hipótesis» no se ajusta al uso moderno. El aplicaba el término «teoría» a relaciones invariantes entre términos que designan cualidades manifiestas. Algunas veces habló de estas relaciones invariantes como de relaciones «deducidas de» los fenómenos, pero lo más probable es que quisiera decir con esto que había fuertes elementos de juicio inductivos en favor de estas relaciones. Las «hipótesis», en uno de los usos de Newton [16], son enunciados sobre términos que designan «cualidades ocultas» para las que no se conocen procedimientos de medida.

Newton estuvo presto a tomar a ofensa el que a sus «teorías» apoyadas experimentalmente se les calificase de «hipótesis». Por ejemplo, cuando el matemático Pardies hizo referencia incautamente a la teoría newtoniana de los colores como a una «hipótesis muy ingeniosa» [17], Newton le corrigió con prontitud. Newton enfatizó que había pruebas experimentales concluyentes de que la luz del sol está

[16] I. B. Cohen ha examinado nueve significados de «hipótesis» en los escritos de Newton (*Franklin and Newton*, 138-40).

[17] Ignatius Pardies, «Some Animadversions on the Theory of Light of Mr. Isaac Newton», en *Isaac Newton's Papers and Letters on Natural Philosophy* (Escritos de Isaac Newton sobre filosofía natural), ed. por I. B. Cohen (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1958), 86.

formada por rayos de diferentes colores, y diferentes propiedades de refracción. Distinguió cuidadosamente su «teoría» según la cual la luz tiene ciertas propiedades de refracción de cualquier «hipótesis» sobre ondas o corpúsculos por medio de los cuales pudieran explicarse estas propiedades [18].

Newton defendió una posición similar con respecto a la «teoría» de la atracción gravitatoria. Insistió en que había establecido la existencia de la atracción gravitatoria y su modo de actuar, explicando con ello los movimientos de los planetas, las mareas y otros diversos fenómenos. Pero no deseaba hacer correr riesgos a su «teoría» uniéndola a una hipótesis particular acerca de la causa subyacente de la atracción. «Yo no invento hipótesis», escribió [19].

Su lema iba dirigido principalmente contra las «explicaciones» de la atracción gravitatoria en términos de la hipótesis cartesiana de invisibles torbellinos de éter. Newton demostró en los *Principia* que la hipótesis de los torbellinos de Descartes tenía consecuencias que no estaban de acuerdo con los movimientos observados de los planetas.

Sin embargo, en otros contextos, Newton estaba dispuesto a proponer hipótesis que explicasen correlaciones entre cualidades manifiestas. Además, él mismo coqueteó con una hipótesis relativa a un medio etéreo que producía la atracción gravitatoria. Sin embargo, Newton destacó que la función de tales hipótesis es dirigir la investigación futura y no servir como premisas para discusiones estériles.

Las reglas del razonamiento en filosofía

Para dirigir la búsqueda de hipótesis explicativas fructíferas, Newton sugirió cuatro principios regulativos, a los que en la primera edición de los *Principia* llamó «hipótesis» y en la segunda edición «reglas del razonamiento en filosofía». Estos principios regulativos son:

I. No admitimos más causas de las cosas naturales que aquellas que son al tiempo verdaderas y suficientes para explicar sus apariencias.

II. Por tanto, y en la medida que sea posible, a los mismos efectos naturales debemos asignar las mismas causas.

III. Las cualidades de los cuerpos, que no admiten intensificación ni disminución en sus grados, y que hemos encontrado presentes en todos los cuerpos dentro del ámbito de nuestros experimentos, han de estimarse como cualidades universales de todos los cuerpos.

---

[18] Newton, «Answer to Pardies», en *Isaac Newton's Papers and Letters on Natural Philosophy*, 106.

[19] Newton, *Mathematical Principles*, II, 547. Véase también A. Koyré, *Newtonian Studies* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1965), 35-6.

IV. En la filosofía experimental hemos de considerar que las proposiciones inferidas de los fenómenos por medio de la inducción general son verdaderas o que están muy cercanas a la verdad, no tomando en consideración ninguna hipótesis que hayamos podido imaginar, hasta que ocurran otros fenómenos, gracias a los cuales podamos hacerlas más exactas o sujetas a excepciones [20].

En apoyo de la Regla I, Newton apeló a un principio de economía de pensamiento, declarando que la naturaleza «no es afecta a la pompa de las causas superfluas». Pero lo que Newton quiso decir exactamente, o debió haber significado, con «causa verdadera» ha sido tema de discusiones. Por ejemplo, tanto William Whewell como John Stuart Mill criticaron a Newton por haber dejado sin especificar un criterio para la identificación de las causas verdaderas. Whewell señaló que si Newton pretendía restringir la «causa verdadera» de un tipo de fenómenos a causas de las que ya se sabe que son efectivas para producir otros tipos de fenómenos, entonces la Regla I sería excesivamente restrictiva. Imposibilitaría la introducción de causas nuevas. Sin embargo, Whewell no estaba seguro de que fuese esto lo que Newton quería decir. Señaló que Newton podía haber pretendido restringir sólo la introducción de causas a aquellas de «tipo similar» a causas ya previamente establecidas. Whewell observó que, interpretada de este modo, la Regla I sería demasiado vaga para guiar la investigación científica. De cualquier causa hipotética podría decirse que guarda *alguna* semejanza con las causas establecidas previamente. Desechadas estas alternativas inadecuadas, Whewell sugirió que lo que Newton debió haber querido decir con «causa verdadera» es una causa representada en una teoría, la cual es apoyada por la experiencia inductiva adquirida en el análisis de diversos tipos de fenómenos [21].

Mill interpretó igualmente «causa verdadera» de modo que reflejase su propia posición filosófica. En concordancia con su visión de la inducción como teoría de la prueba de la conexión causal, Mill mantuvo que lo que distingue una «causa verdadera» es que su conexión con el efecto señalado sea susceptible de ser probada mediante pruebas independientes [22].

Comentando la Regla III, Newton indicó que, entre las cualidades que satisfacen la regla, se incluyen la extensión, la dureza, la impenetrabilidad, la movilidad y la inercia. Newton mantenía que estas cualidades deben considerarse cualidades universales de todos

---

[20] Newton, *Mathematical Principles*, II, 398-400.

[21] El concepto de Whewell de «concurrencia de inducciones» se trata en el capítulo 9.

[22] La visión de Mill de la relación causal se discute en el capítulo 9.

los cuerpos. Además, afirmó que éstas son también las cualidades de las partes diminutas de los cuerpos. En la cuestión 31 de la *Optica* estableció un programa de investigación para descubrir las fuerzas que gobiernan las interacciones de las partes diminutas de los cuerpos. Newton expresó la esperanza de que, por medio del estudio de las fuerzas de corto alcance, pudiera conseguirse una integración de fenómenos físico-químicos tales como cambios de estado, soluciones y formación de compuestos, del mismo modo que el principio de gravitación universal ha permitido la integración de las dinámicas celeste y terrestre. Posteriormente, el programa de investigación de Newton recibió desarrollo teórico por parte de Boscovich y Mossotti, y realización práctica en las investigaciones electromagnéticas de Faraday y en los diversos intentos de medir las afinidades electivas de los elementos químicos[23].

La naturaleza contingente de las leyes científicas

Newton repudió el programa cartesiano de deducir las leyes científicas a partir de principios metafísicos indudables. Y negó que pudiera conseguirse de ninguna manera un conocimiento necesario de las leyes científicas. De acuerdo con Newton, el filósofo natural puede establecer que los fenómenos se relacionan de cierto modo, pero no puede establecer que la relación no podría ser diferente.

Es cierto que Newton sugirió que, si se pudieran conocer las fuerzas que operan en las partículas diminutas de la materia, se podría entender por qué los procesos macroscópicos suceden del modo en que lo hacen. Pero Newton no mantuvo que tal conocimiento constituyese un conocimiento necesario de la naturaleza. Por el contrario, mantenía que todas las interpretaciones de los procesos naturales son contingentes y están sujetas a revisión a la luz de los elementos de juicio posteriores.

---

23 El papel del programa de investigación de Newton en la ciencia del siglo XVIII ha sido tratado por A. Thackray en *Atoms and Powers* (Atomos y fuerzas) (Cambridge. Mass.: Harvard University Press, 1970).

Capítulo 9

ANALISIS DE LAS IMPLICACIONES DE LA NUEVA CIENCIA PARA UNA TEORIA DEL METODO CIENTIFICO

I. El rango cognoscitivo de las leyes científicas

John Locke (1632-1704) nació en Wrington (Somerset). Se educó en Oxford y en 1660 fue nombrado allí lector de griego y filosofía. Posteriormente, se interesó por la medicina y obtuvo la licencia para practicarla, también en Oxford.

En 1666, Locke entró al servicio del primer Conde de Shaftesbury, y se convirtió en médico, amigo y consejero de este influyente político. A la caída del poder de Shaftesbury, Locke eligió exiliarse a Holanda. Fue durante su estancia en Holanda cuando Locke completó su *Essay Concerning Human Understanding* (Ensayo sobre el entendimiento humano) (1690), en el que expuso sus opiniones sobre las perspectivas y limitaciones de la ciencia. La fortuna política de Locke mejoró con la llegada de Guillermo de Orange en 1689. Volvió a Inglaterra y aceptó un puesto en el servicio civil.

Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) era hijo del profesor de filosofía moral de la Universidad de Leipzig. Lector omnívoro, Leibniz estudió filosofía en la universidad de su padre y jurisprudencia en Jena.

Leibniz pasó la mayor parte de su vida adulta en la corte, primero en Mainz y después en Hanover. Durante este servicio se le confiaron misiones diplomáticas que le permitieron establecer contactos con numerosos líderes políticos e intelectuales. Leibniz trabajó sin descanso en favor de la reforma legal, de la unificación religiosa protestante y del progreso de la ciencia y la tecnología. Mantuvo extensa correspondencia con los principales pensadores de su época y promovió activamente la cooperación científica, aprovechando para ello su pertenencia a la Royal Society, a la Academia Francesa y a la Academia Prusiana. Es irónico que sus últimos años estuviesen marcados por amargas polémicas con los seguidores de Newton acerca de las prioridades en la invención del cálculo infinitesimal.

DAVID HUME (1711-1776) comenzó a estudiar leyes en la Universidad de Edimburgo, pero la dejó sin graduarse. Renunció a sus estudios legales en favor de la filosofía. Hume pasó varios años en Reims y La Flèche, donde completó su obra *Treatise of Human Nature* (Tratado de la naturaleza humana) (1739-1740).

Hume se decepcionó mucho con la recepción dispensada a este libro, que «salió ya muerto de la imprenta». Sin desanimarse, revisó y popularizó el *Treatise* en *An Enquiry Concerning Human Understanding* (Investigación sobre el entendimieto humano) (1748). Hume publicó también un *Enquiry Concerning the Principles of Morals* (Investigación sobre los principios de la moral) (1751), y una larga *Historia de Inglaterra* (1754-1762).

Hume fracasó en sus intentos por conseguir puestos en las universidades de Edimburgo y Glasgow. Sus oponentes alegaron herejía e incluso ateísmo. En 1763 Hume fue nombrado secretario del embajador británico en Francia, y posteriormente fue exaltado por la sociedad parisiense.

IMMANUEL KANT (1724-1804) pasó toda su vida en la inmediata vecindad de su Königsberg natal. Estudió filosofía y teología en la Universidad de Königsberg, y en 1770 se convirtió en profesor de lógica y metafísica de allí. Las opiniones de Kant sobre la importancia de los principios regulativos en la investigación científica están expuestos en la *Crítica de la razón pura* (1781) y en la *Crítica del juicio* (1790).

Locke y la posibilidad de un conocimiento necesario de la naturaleza

John Locke, quien como Newton era adepto al atomismo, especificó las condiciones que habían de cumplirse para conseguir un conocimiento necesario de la naturaleza. De acuerdo con Locke, tendríamos que conocer tanto las configuraciones y movimientos de los átomos y los modos en que los movimientos de los átomos producen las ideas de las cualidades primarias y secundarias en el observador. Señaló que, si pudieran cumplirse estas dos condiciones, entonces sabríamos *a priori* que el oro debe disolverse en *aqua regis* pero no en *aqua fortis*, que el ruibarbo debe tener un efecto purgativo y que el opio debe hacer que los hombres se duerman [1].

Locke sostenía que ignoramos las configuraciones y movimientos de los átomos. Pero su postura usual fue que esta ignorancia es una cuestión contingente, originada por la menudencia de los átomos. En principio, podríamos superar esta ignorancia. Pero incluso si consiguiéramos esto, seguiríamos sin poder alcanzar un conocimiento necesario de los fenómenos. Esto se debe a que ignoramos los modos en que los átomos manifiestan ciertos poderes. Locke sostenía que los constituyentes atómicos de un cuerpo poseen el poder, en virtud de sus movimientos, de producir en nosotros las ideas de cualidades

[1] John Locke, *An Essay Concerning Human Understanding*, IV, iii, 25 [edición cast., *Ensayo sobre el entendimiento humano;* Madrid, Editora Nacional, 1980 (Edición de S. Rábade y Esmeralda García)].

secundarias tales como colores y sonidos. Además, los átomos de un cuerpo particular tienen el poder de afectar a los átomos de otros cuerpos de tal modo que alteran los modos en que estos cuerpos afectan a nuestros sentidos [2]. En una ocasión, Locke declaró que sólo por revelación divina podríamos conocer los modos en que los movimientos atómicos nos producen estos efectos [3].

En algunos pasajes, Locke sostuvo que un abismo epistemológico insalvable separa el «mundo real» de los átomos del ámbito de las ideas que constituye nuestra experiencia. Y no expresó interés en arriesgar hipótesis sobre la estructura atómica. Es un rasgo curioso de la filosofía de la ciencia de Locke el que, si bien éste atribuyó consecuentemente los efectos macroscópicos a interacciones atómicas, no intentó correlacionar efectos específicos con hipótesis particulares sobre los movimientos atómicos. Como ha señalado Yolton, en lugar de ello, Locke recomendó para la ciencia una metodología baconiana de correlación y exclusión, basada en la compilación de vastas historias naturales [4]. Esto llevaba consigo un deslizamiento del foco de atención de las «esencias reales» —la configuración atómica de los cuerpos— a las «esencias nominales» —las propiedades y relaciones observadas de los cuerpos.

Locke insistió en que lo más que se puede conseguir en la ciencia es una colección de generalizaciones sobre la asociación y sucesión de «fenómenos». En el mejor de los casos, estas generalizaciones son probables y no satisfacen el ideal racionalista de verdad necesaria. En esta línea, Locke degradó algunas veces la ciencia natural. En un pasaje concedió que el científico preparado observa la naturaleza de un modo más sutil que el observador sin preparación, pero insistió en que esto no es «sino juicio y opinión, no conocimiento ni certeza» [5].

Sin embargo, en otros pasajes, Locke se alejó de las posibilidades escépticas implícitas en su distinción entre las propiedades primarias de los constituyentes atómicos de los cuerpos, los cuales existen con independencia de nuestras experiencias perceptivas y nuestras ideas de las cualidades secundarias. Pensaba que existen conexiones necesarias en la naturaleza, aun cuando estas conexiones sean opacas al entendimiento humano. Locke utilizó a menudo el término «idea» como para salvar el abismo epistemológico. En este uso, las «ideas» son efecto de las operaciones en el «mundo real» de los

---

2 Ibid., II, viii, 23.
3 Ibid., IV, vi, 14.
4 John Yolton, *Locke and the Compass of Human Understanding* (Cambridge: Cambridge University Press, 1970), 58.
5 Locke, *Essay*, IV, xii, 10.

átomos. La idea de una mancha roja, por ejemplo, es algo que posee un sujeto perceptor, pero también es un efecto de alguna manera producido por procesos externos al sujeto (al menos en situaciones de visión normal). Locke creía que son los movimientos de los constituyentes atómicos de la materia los que dan lugar a nuestras ideas de los colores y sabores, aun cuando no podamos llegar a saber la forma exacta en que esto tiene lugar. Quedó para Berkeley y Hume el exigir garantías de este supuesto.

Leibniz y las relaciones entre ciencia y metafísica

Leibniz, contemporáneo de Locke, dio una exposición más optimista de lo que la ciencia puede conseguir. Leibniz fue un científico activo que hizo importantes contribuciones a las matemáticas y a la física. Y extrapoló confiadamente, partiendo de sus hallazgos científicos, afirmaciones metafísicas. En verdad, estableció un tráfico de ida y vuelta entre las teorías científicas y los principios metafísicos. No sólo apoyó sus principios metafísicos en argumentos analógicos basados en teorías científicas; también empleó los principios metafísicos para dirigir la búsqueda de leyes científicas.

Un caso a propósito es la relación entre los estudios de los fenómenos de choque y el principio de continuidad. Leibniz usó el principio de continuidad para criticar las reglas del choque de Descartes. Señaló que, según Descartes, si dos cuerpos de igual tamaño y velocidad chocan de frente, sus velocidades después del choque son las mismas, pero en direcciones opuestas; pero que si un cuerpo es mayor que el otro, ambos cuerpos se desplazan después del impacto en la dirección en que se desplazaba el cuerpo mayor. Leibniz objetó que no es razonable que una adición infinitesimal de materia diera como resultado un cambio discontinuo en el comportamiento [6]. Y después de corregir las reglas del choque de Descartes, Leibniz se dio prisa en apelar a los fenómenos de choque para apoyar la afirmación ontológica de que la naturaleza actúa invariablemente de modo de evitar las discontinuidades.

Una interacción recíproca semejante está presente en la discusión de Leibniz de las relaciones entre los principios del *extremum* en física y el principio de perfección. Por ejemplo, arguyó que, debido

[6] G. W. Leibniz, «On a General Principle Useful in Explaining the Laws of Nature through a Consideration of the Divine Wisdom; To Serve as a Reply to the Response of the Rev. Father Malebranche», en L. Loemker, ed., *Leibniz: Philosophical Papers and Letters* (Dordrecht: D. Reidel Publishing Co., 1969). 351-53.

a que la naturaleza selecciona siempre el curso de acción más sencillo, o más directo, de entre un conjunto de alternativas, el paso de un rayo de luz de un medio a otro obedece la ley de Snell. Leibniz obtuvo la ley de Snell aplicando el cálculo diferencial que había elaborado a la condición de que la «dificultad del camino» del rayo (la longitud del camino multiplicado por la resistencia del medio) es mínima. Y tomó su éxito en esta empresa como apoyo para su principio metafísico de que Dios gobierna el universo de tal modo que se consigue un máximo de «simplicidad» y «perfección» [7].

Otra prueba de la concepción de Leibniz de la interdependencia entre física y metafísica es la relación entre la conservación de la *vis viva* (mv^2) y el principio de la actividad monádica. Por un lado, Leibniz argumentó analógicamente a partir de la conservación de la *vis viva* en los procesos físicos hasta llegar a una caracterización del ser en sí como un «conflicto interno». Por otro lado, su convicción de que la actividad monádica en el plano metafísico debía tener su correlato en el plano físico llevó su atención a buscar alguna «entidad» que se conservase en las interacciones físicas.

Buchdahl ha llamado la atención sobre la importancia del compromiso metafísico de Leibniz comparando los análisis de los procesos de colisión realizados por Huygens y Leibniz. Mientras que Huygens señalaba meramente de pasada que mv^2, considerado como un producto de parámetros matemáticos, permanecía constante en tales procesos, Leibniz «substancializó» la *vis viva* y sostuvo que su conservación era un principio físico general [8].

Leibniz pretendía interpretar el universo de tal manera que la visión del mundo mecanicista, que está centrada en la causalidad material y eficiente, se apoyase en consideraciones teleológicas. Los principios del *extremum*, los principios de conservación y el principio de continuidad eran muy adecuados para efectuar la integración deseada de los puntos de vista mecanicista y teleológico. En el caso de los principios del *extremum*, por ejemplo, la connotación teleológica es que un proceso natural sucede de un cierto modo *con el fin de que* ciertas cantidades tengan un valor mínimo (o máximo). No queda sino un corto paso, que Leibniz estaba deseoso de dar, a la posición de que un Ser Perfecto creó el universo de tal modo que los procesos naturales satisficieran estos principios.

---

7 Leibniz, «Tentamen Anagogicum: An Analogical Essay in the Investigation of Causes», *Leibniz, Philosophical Papers and Letters*, 477-84.

8 Gerd Buchdahl, *Metaphysics and the Philosophy of Science* (Oxford, Blackwell, 1969), 416-17.

Locke había deplorado el hecho de que no pudiéramos progresar desde el conocimiento de la asociación de cualidades al conocimiento de las constituciones internas o «esencias reales» de las cosas. Leibniz tomó una actitud bastante diferente hacia este abismo epistemológico. Concedió que, en el nivel de los fenómenos, los científicos sólo pueden lograr la probabilidad o la «certeza moral». Pero estaba convencido de que los principios metafísicos generales que él había formulado eran verdades necesarias. Por necesidad, las sustancias individuales (mónadas) se despliegan de acuerdo con un principio de perfección que asegura su interrelación armónica; y podemos estar seguros de que esta actividad monádica «subyace» en los fenómenos. Pero no podemos saber que los principios metafísicos *deben* estar ejemplificados, en el nivel fenoménico, de un modo particular.

Por regla general, Leibniz destacó la certeza de sus principios metafísicos más que la naturaleza contingente del conocimiento empírico. Su postura dominante fue de optimismo. En verdad, a veces parece reclamar algo más que probabilidad para las generalizaciones empíricas. Esta inconsecuencia puede atribuirse quizás a un interés predominante en establecer la dependencia del ámbito fenoménico frente al ámbito metafísico.

Leibniz se daba cuenta de que la imagen de un ámbito metafísico «más allá» de los fenómenos sólo es de interés si existen fuertes lazos de unión entre los dos ámbitos. Los lazos más fuertes posibles serían las relaciones deductivas entre los principios metafísicos y las leyes empíricas. Dado el carácter necesario de los principios metafísicos, las relaciones deductivas extenderían el dominio de la conexión necesaria al ámbito de los fenómenos.

Leibniz coqueteó con esta posibilidad. Empleó una analogía basada en la teoría de las series infinitas para sugerir que hay fuertes lazos entre los dos ámbitos. La analogía es que los principios metafísicos están relacionados con las leyes físicas del mismo modo como la ley que genera una serie infinita se relaciona con los miembros particulares de esa serie [9].

Pero aun cuando se hubiera de aceptar la fuerza de esta analogía, esto no establecería que los principios metafísicos *implican* leyes empíricas. No se puede deducir, sólo a partir de la ley de una serie,

---

[9] Leibniz, «Seventh Letter to de Volder (10 noviembre 1703); «Eighth Letter to de Volder (21 enero 1704); en *Leibniz: Philosophical Papers and Letters*, 533. Véase también George Gale, «The Physical Theory of Leibniz», *Studia Leibnitiana II*, 2 (1970), 114-27.

$$\left(\text{v. g., } \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2}\right),^{10}$$

el valor de un miembro determinado de la serie. Debe especificarse la posición del término en la serie (v. g., $n=5$). De modo parecido, no se puede deducir, sólo de los principios metafísicos, leyes empíricas. Se debe especificar el modo en que se realiza en la experiencia el principio metafísico. Pero, según la opinión del propio Leibniz, no podemos saber de qué modo específico *debe* realizarse un principio metafísico.

Yo creo que Leibniz era consciente de que la analogía de la serie infinita no podía llevarse muy lejos. En otras ocasiones se refirió a las fuerzas físicas como a los «ecos» de las fuerzas metafísicas [11], caracterización que es extremadamente vaga. Y retroceder a esta posición era dejar sin resolver el problema general de las relaciones entre los dos ámbitos, al igual que el problema concreto acerca del rango cognoscitivo de los principios del *extremum* y de los principios de conservación *en su aplicación a la ciencia.*

El escepticismo de Hume

David Hume amplió y dio coherencia al enfoque escéptico de Locke de la posibilidad de un conocimiento necesario de la naturaleza. Hume negó consecuentemente que un conocimiento de las configuraciones e interacciones atómicas —aun cuando pudiera lograrse— constituyese un conocimiento necesario de la naturaleza. Según Hume, incluso si nuestras facultades fueran «adecuadas para penetrar en la arquitectura interna» de los cuerpos, no conseguiríamos conocimiento de una conexión necesaria entre los fenómenos. Lo más que podríamos esperar aprender es que ciertas configuraciones y movimientos de los átomos han estado constantemente unidos a ciertos efectos macroscópicos. Pero saber que se ha observado una unión constante no es lo mismo que saber que un determinado movimiento *debe* producir un efecto determinado. Hume sostenía que Locke estaba errado al sugerir que, si conociéramos la configuración atómica del oro, podríamos comprender sin necesidad de ensayos que esta sustancia debe ser soluble en *aqua regia.*

---

10 $\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n^2} = 1+\frac{1}{4}+\frac{1}{9}+\frac{1}{16}+\ldots = \frac{\pi^2}{6}$.

11 Véase Leibniz, «Sixth Letter to de Volder (20 junio 1703)», en *Leibniz: Philosophical Papers and Letters*, 530.

La negación de Hume de la posibilidad de un conocimiento necesario de la naturaleza se basa en tres premisas explícitamente establecidas: 1) todo conocimiento puede subdividirse en las categorías mutuamente excluyentes «relaciones entre ideas» y «cuestiones de hecho»; 2) todo conocimiento de las cuestiones de hecho nos viene dado en, y surge de, impresiones sensibles; y 3) un conocimiento necesario de la naturaleza presupondría el conocimiento de la conexión necesaria entre sucesos. Los argumentos de Hume en apoyo de estas premisas fueron muy influyentes en la historia posterior de la filosofía de la ciencia.

Subdivisión del conocimiento

Hume mantenía que los enunciados sobre relaciones entre ideas y los enunciados sobre cuestiones de hecho difieren en dos aspectos. El primer aspecto es el tipo de afirmación de verdad que puede hacerse en favor de los dos tipos de enunciados. Ciertos enunciados sobre relaciones entre ideas son verdades necesarias. Por ejemplo, dados los axiomas de la geometría euclídea, no puede ocurrir sino que la suma de los ángulos de un triángulo sea 180 grados [12]. Afirmar los axiomas y negar el teorema es construir una contradicción. Por otro lado, los enunciados sobre cuestiones de hecho nunca pasan de ser verdades contingentes. La negación de un enunciado empírico no es una autocontradicción; el estado de cosas descrito podría haber sido distinto.

El segundo punto de diferencia es el método seguido para averiguar la verdad o falsedad de los respectivos tipos de enunciados. La verdad o falsedad de los enunciados sobre relaciones entre ideas se establece con independencia de cualquier apelación a los elementos de juicio empíricos. Hume subdividió los enunciados sobre relaciones entre ideas en aquellos que son intuitivamente ciertos y aquellos que son demostrativamente ciertos. Por ejemplo, los axiomas de la geometría de Euclides son intuitivamente ciertos; su verdad se establece examinando los significados de sus términos componentes. Los teoremas de Euclides son demostrativamente ciertos; su verdad se establece demostrando que son consecuencias deductivas de los axiomas. Cualquier apelación a las medidas de las figuras dibujadas en el papel o sobre la arena es totalmente irrelevante. Hume

12 Hume negó, en *A Treatise of Human Nature* (1739), que las proposiciones de la Geometría fuesen verdades necesarias, pero posteriormente cambió de parecer. En el *Enquiry Concerning Human Understanding* (1748) mantuvo que las proposiciones geométricas, al igual que las aritméticas y las algebraicas, son verdades necesarias.

declaró que «aunque nunca hubiese en la naturaleza un círculo o un triángulo, las verdades demostradas por Euclides conservarían siempre su certeza y su evidencia» [13].

La verdad o falsedad de los enunciados sobre cuestiones de hecho, por otro lado, debe establecerse apelando a los elementos de juicio empíricos. No se puede establecer la verdad del enunciado de que algo ha sucedido, o sucederá, por el simple medio de pensar acerca del significado de las palabras.

Hume efectuó, de este modo, una demarcación entre los enunciados necesarios de la matemática y los enunciados contingentes de la ciencia empírica, agudizando con ello la distinción newtoniana entre un sistema deductivo formal y su aplicación a la experiencia. Más tarde, Albert Einstein reformularía la intuición de Hume como sigue: «en la medida en que las leyes de la matemática se refieren a la realidad no son seguras, y en la medida en que son seguras no se refieren a la realidad» [14]. La demarcación de Hume colocó una barricada en el camino de cualquier pitagórico ingenuo que pretendiese leer en la naturaleza una estructura matemática necesaria.

El principio del empirismo

Hume mantenía que Descartes estaba equivocado al sostener que poseemos ideas innatas de la mente, Dios, el cuerpo y el mundo. Según Hume, las impresiones sensibles son la única fuente de conocimiento en cuestiones de hecho [15]. Se hacía eco, así, de la afirmación de Aristóteles de que no hay nada en el intelecto que no estuviese primero en los sentidos. La versión de Hume era que «todas nuestras ideas no son sino copias de nuestras impresiones, o, en otras palabras, que nos es imposible pensar en ninguna cosa que no hayamos sentido anteriormente, sea mediante los sentidos externos, sea mediante los internos» [16].

La tesis de Hume es a un tiempo una hipótesis psicológica sobre la génesis del conocimiento empírico y una estipulación lógica del rango de los conceptos empíricamente significativos. Hume restringió el ámbito de los conceptos empíricamente significativos a aquellos que pudieran ser «derivados de» impresiones [17]. Establecido de

---

[13] David Hume, *An Enquiry Concerning Human Understanding* (Chicago, The Open Court Publishing Co., 1927), 23.

[14] Albert Einstein, «Geometry and Experience», en *Sidelights on Relativity* (Nueva York; E. P. Dutton Co., 1923), 28.

[15] Hume incluyó entre las «impresiones sensoriales» a los deseos, voliciones y sentimientos, a la par con los datos visuales, auditivos, táctiles y olfativos.

[16] Hume, *Enquir Concerning Human Understanding*, 63.

[17] Ibid., 19.

este modo, el criterio de Hume es bastante vago. En otra parte del *Enquiry*, sugirió que el papel de la mente a la hora de generar conocimiento queda reducido a unir, trasponer, aumentar o disminuir las ideas «copiadas de» las impresiones [18]. Presumiblemente, se excluye cualquier concepto que no sea una «copia» de una impresión ni el resultado de un proceso de unión, trasposición, aumento o disminución. Entre los conceptos excluidos por el propio Hume están los de «vacío» [19], «sustancia» [20], «identidad perdurable» [21] y «conexión necesaria de acontecimientos» [22].

El análisis de Hume ha sido interpretado como un refuerzo del inductivismo baconiano, tradición que quizás debe tanto a las investigaciones epistemológicas de Hume como al consejo del propio Francis Bacon. Interpretándolo de este modo, se ha sostenido que Hume afirmaba que la ciencia comienza con impresiones sensibles y sólo puede abarcar aquellos conceptos que de alguna manera se «construyen» a partir de los datos sensibles. Tal opinión es compatible con el método de análisis, pero no con el método axiomático de Newton.

Pero aunque esta interpretación de Hume ha tenido influencia, no hace justicia a la complejidad de la posición de Hume, porque Hume reconoce que la formulación de teorías amplias, como la mecánica de Newton, se consigue mediante una intuición creadora que no es reducible a la «unión, trasposición, aumento o disminución» de ideas «copiadas de» impresiones. Lo que él negó, sin embargo, es que tales teorías pudiesen conseguir el rango de verdad necesaria.

Análisis de la causalidad

Bacon y Locke habían tratado la cuestión de un conocimiento necesario de la naturaleza desde un punto de vista escolástico. Ambos se centraron en clases o especies naturales y buscaron un conocimiento necesario de la coexistencia de propiedades. Hume desvió la búsqueda de conocimiento empírico necesario a las secuencias de acontecimientos. Se preguntó si era posible un conocimiento necesario de tales secuencias, y decidió que no lo era. Hume sostenía que, para establecer un conocimiento necesario de una secuencia de acontecimientos, se tendría que probar que la secuencia no podría haber sido otra. Pero Hume señaló que no era una contradicción

---

[18] Ibid., 16.
[19] Hume, *A Treatise of Human Nature*, 53-65 [ed. cast., *Tratado sobre la naturaleza humana;* Madrid, Editora Nacional, 1977 (Edición de Félix Duque)].
[20] Ibid., 15-6.
[21] Ibid., 251-62.
[22] Ibid., 155-72.

afirmar que, aunque todo *A* haya ido seguido por un *B*, el próximo *A* no irá seguido por un *B*.

Hume procedió a examinar nuestra idea de «relación causal». Señaló que, si lo que queremos decir con «relación causal» es tanto «conjunción constante» como «conexión necesaria», entonces, no se puede lograr ningún conocimiento causal. Esto se debe a que no tenemos ninguna impresión de fuerza o poder alguno mediante el cual un *A* se vea obligado a producir un *B*. Lo más que podemos establecer es que los acontecimientos de un tipo se han visto invariablemente seguidos por acontecimientos de un segundo tipo. Hume concluyó que el único conocimiento «causal» que podemos esperar lograr es un conocimiento de la asociación *de facto* de las dos clases de acontecimientos.

Hume admitió que sentimos que hay algo necesario en muchas secuencias. De acuerdo con Hume, este sentimiento es una impresión del «sentido interno», una impresión derivada de la costumbre. Declaró que, «después de la repetición de casos semejantes, la mente se ve arrastrada por el hábito, ante la aparición de un acontecimiento, a esperar su acompañante habitual y a creer que éste existirá» [23]. Por supuesto, el hecho de que la mente anticipe un *B* ante la aparición de un *A* no prueba que exista una conexión necesaria entre *A* y *B*.

De un modo consecuente con este análisis, Hume estipuló definiciones de «relación causal» tanto desde un punto de vista objetivo como subjetivo. Objetivamente considerada, una relación causal es una conjunción constante de los miembros de dos clases de acontecimientos; subjetivamente considerada, una relación causal es una secuencia tal que, al darse un acontecimiento de la primera clase, la mente se ve abocada a anticipar un acontecimiento de la segunda clase.

Estas dos definiciones aparecen tanto en el *Treatise* como en el *Enquiry* [24]. Sin embargo, en el *Enquiry*, Hume insertó después de la primera definición la siguiente aclaración: «o en otras palabras, donde, si no se ha dado el primer objeto, el segundo no hubiera existido nunca» [25]. Sustituyendo el término «objeto» por «acontecimiento», lo cual es consistente con el uso del propio Hume, es evidente que esta nueva definición no equivale a la primera definición. Por ejemplo, en el caso de dos relojes de péndulo dispuestos de tal modo que estén desfasados 90°, las pulsaciones de los dos relojes

[23] Hume, *Enquire Concerning Human Understanding*, 77.

[24] Hume, *Treatise of Human Nature*, 172; *Enquiry Concerning Human Understanding*, 79.

[25] Hume, *Enquiry Concerning Human Understanding*, 79.

se dan unidas de un modo constante, pero esto no implica que si se detuviese el péndulo del reloj 1, dejase de sonar el reloj 2.

La inclusión por parte de Hume de esta aclaración en el *Enquiry* puede indicar que no estaba muy satisfecho de igualar la relación causal y la regularidad *de facto*. Otra probable indicación de su insatisfacción es el hecho de que en el *Treatise*, sucintamente y sin comentario alguno, ofrece una lista de ocho «Reglas por las cuales juzgar sobre causas y efectos»[26]. Entre estas reglas se encuentran versiones de los métodos del acuerdo, de la diferencia y de las variaciones concomitantes, que más tarde haría famosos Mill.

El método de la diferencia, en particular, permite al investigador juzgar que se da una conexión causal con la observación de sólo dos casos. Parecería, en este ejemplo, que Hume contradecía su «posición oficial», según la cual una relación se la denomina «causal» sólo ante la experiencia de una conjunción constante de dos tipos de acontecimientos. Hume negó esto. Mantenía que si bien la creencia de que una sucesión de acontecimientos es una secuencia causal puede surgir incluso ante una única observación de la secuencia, dicha creencia, sin embargo, es un producto de la costumbre. Esto se debe a que el juicio sobre una conexión causal depende implícitamente, en tales casos, de la generalización de que objetos semejantes, en circunstancias semejantes, producen efectos semejantes. Pero esta misma generalización expresa nuestras expectativas basadas en una amplia experiencia de acontecimientos constantemente unidos. Por tanto, nuestra creencia en una conexión causal es invariablemente una cuestión de expectativas debidas al hábito.

Habiendo explicado de este modo el *origen* de nuestra creencia en una conexión causal, Hume se apresuró a señalar que ninguna apelación a la regularidad de la experiencia pasada puede garantizar el cumplimiento de nuestras expectativas para el futuro. Afirmó que «es imposible, por lo tanto, que ningún argumento a partir de la experiencia pueda probar este reflejo del pasado en el futuro; dado que todos estos argumentos se basan en el supuesto de tal reflejo»[27]. Por consiguiente, no es posible lograr un conocimiento demostrativo de las causas a partir de premisas que establezcan cuestiones de hecho.

Hume completó de este modo un devastador ataque contra la posibilidad de un conocimiento necesario de la naturaleza. Tal conocimiento tendría que ser o inmediato o demostrativo. Hume había mostrado que no es posible ningún conocimiento inmediato de las

---

26 Hume, *Treatise of Human Nature*, 173-75.

27 Hume, *Enquiry Concerning Human Understanding*, 37.

causas, ya que no poseemos impresiones de las conexiones necesarias. También había mostrado que no es posible conseguir un conocimiento demostrativo de las causas, ya sea a partir de premisas que establezcan relaciones entre las ideas verdaderas *a priori*, o a partir de premisas que establezcan cuestiones de hecho. No parecía haber ninguna otra posibilidad. Ninguna interpretación científica puede lograr la certeza de un enunciado como «el todo es mayor que la parte». La probabilidad es la única afirmación defendible que puede aplicarse a las leyes y teorías científicas.

Aunque el escepticismo de Hume fue considerado como una amenaza para la ciencia por aquellos que no se consideraban satisfechos con un conocimiento «meramente probable», el propio Hume estuvo muy dispuesto a confiar en el testimonio de la experiencia pasada. Al nivel de la práctica, Hume no fue un escéptico. Declaró que

> la costumbre, por tanto, es la gran guía de la vida humana. Es este solo principio el que convierte a nuestra experiencia en algo útil para nosotros... Sin la influencia de la costumbre, ignoraríamos por completo cualquier cuestión de hecho que estuviese más allá de lo que está inmediatamente presente a la memoria y a los sentidos [28].

Kant y los principios regulativos en la ciencia

Respuesta a Hume

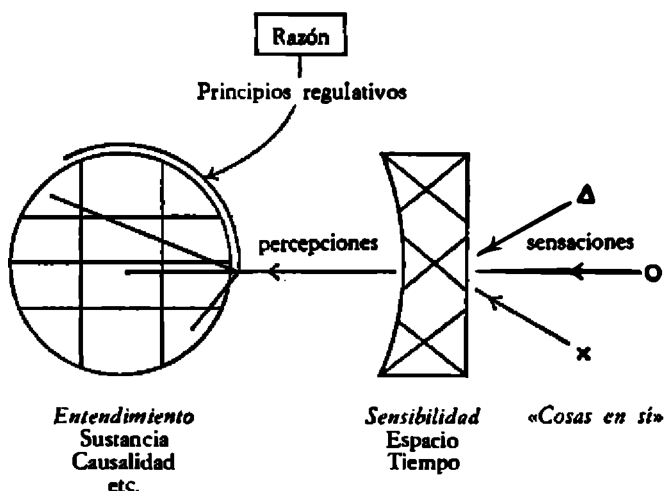
Immanuel Kant confesó haber sido muy afectado por el análisis de Hume de la causalidad. Kant concedió que si la forma y el contenido de las leyes científicas derivasen completamente de la experiencia sensorial, como Hume había aseverado, entonces, no se podría escapar de la conclusión de Hume. Sin embargo, Kant no deseaba aceptar la premisa de Hume. En contra de Hume, razonó que, si bien todo conocimiento empírico «surge de» las impresiones de los sentidos, no es cierto que ese conocimiento venga «dado en» esas impresiones. Kant distinguió entre la materia y la forma de la experiencia cognoscitiva. Sostenía que las impresiones sensibles proporcionan la materia prima para el conocimiento empírico, pero que el propio sujeto cognoscente es el responsable de la organización estructural y relacional de esta materia prima.

Kant creía que Hume había simplificado en exceso el proceso cognoscitivo al reducir las operaciones de la mente a un mero «componer, trasponer, aumentar o disminuir» ideas «copiadas de» las

---

[28] Ibid., 45.

impresiones. La teoría del conocimiento del propio Kant fue más compleja. Señaló tres etapas en la organización cognoscitiva de la experiencia. Primero, las «sensaciones» no estructuradas se ordenan con respecto al espacio y al tiempo (las «formas de la sensibilidad»). Segundo, las «percepciones» así ordenadas se relacionan por medio de conceptos tales como unidad, sustancialidad, causalidad y contingencia (cuatro de las doce «categorías del entendimiento»). Tercero, los «juicios de la experiencia» así formados se organizan en un sistema único de conocimiento mediante la aplicación de los «principios regulativos de la razón».



Visión kantiana de la experiencia cognoscitiva

Según Kant, la inadecuada teoría del conocimiento de Hume iba asociada con una igualmente inadecuada teoría de la ciencia. Kant pensaba que Hume estaba preocupado por la generalización inductiva. Kant sostenía que este énfasis apartaba la atención del rasgo más importante de la ciencia: el intento de conseguir una organización sistemática del conocimiento. Kant estaba profundamente impresionado por la amplitud y la potencia de la geometría de Euclides y de la mecánica de Newton, y atribuía esta amplitud y potencia a la estructura deductiva de estas disciplinas.

Kant consideraba la organización sistemática de la experiencia como un objetivo que debía perseguir el sujeto cognoscente. Creía que el progreso hacia la sistematización deseada se consigue mediante

la aplicación de principios regulativos. En la teoría del conocimiento de Kant, la facultad de la razón prescribe al entendimiento ciertas reglas para la ordenación de los juicios empíricos. Kant fue bastante claro al decir que los principios regulativos de la razón no pueden usarse para justificar ningún sistema concreto de juicios empíricos, sino que más bien prescriben modos según los cuales pueden construirse las teorías científicas para ajustarse al ideal de organización sistemática.

Kant formuló criterios de aceptabilidad que reflejan este énfasis en la organización sistemática de la experiencia. Con respecto a las leyes empíricas individuales, Kant rebajó el papel de la confirmación mediante ejemplos, en la que se ve si están de acuerdo con las observaciones las consecuencias deductivas de las leyes. Creía que la incorporación de leyes a sistemas deductivos era más importante. Kant sostendría, por ejemplo, que, si bien las leyes de Kepler consiguen apoyo de los datos sobre los movimientos de los planetas, consiguen más apoyo, y más importante, de su «incorporación» a la teoría de la mecánica de Newton.

Con respecto a las teorías, Kant citó como criterios de aceptabilidad el poder predictivo y la contrastabilidad. Señaló que las teorías exitosas vinculan las leyes empíricas haciendo referencia a nuevas entidades o relaciones. En esta sistematización está implícita la posibilidad de entender la interpretación de estas entidades o relaciones a nuevas regiones de la experiencia. Kant prestó atención a la fecundidad de las teorías científicas. Sugirió que las teorías más aceptables son las que aumentan nuestro conocimiento de las relaciones entre los fenómenos.

Las analogías de la experiencia y la ciencia de la mecánica

En la *Crítica de la razón pura,* Kant aisló tres «analogías de la experiencia» que están asociadas con las categorías de sustancia, causalidad e interacción. Mantenía que estas analogías estipulan las condiciones necesarias de la posibilidad del conocimiento empírico objetivo. La primera analogía —el principio de permanencia de la sustancia— especifica que la sustancia se conserva a través de todos los cambios. La segunda analogía —el principio de causalidad— especifica que, para todo acontecimiento, existe un conjunto de circunstancias antecedentes a partir de las cuales el acontecimiento se sigue de acuerdo con una regla. Y la tercera analogía —el principio de comunidad— especifica que las sustancias percibidas como coexistentes en el espacio están en interacción.

En los *Fundamentos metafísicos de la ciencia natural*, Kant pretendía explicar cómo se aplican estas analogías a la ciencia de la mecánica. Según Kant, el objeto de la mecánica es la materia en movimiento, en la medida en que esta materia posee fuerzas de atracción y repulsión. Sostenía que, al ser aplicadas a la mecánica, las analogías de la experiencia se transforman en los principios de conservación de la materia, del movimiento inercial y de la igualdad de acción y reacción, esto es:

Categoría	*Analogía de la experiencia*	*Principios de la mecánica*
Sustancia	Conservación de la sustancia	Conservación de la materia
Causalidad	Principio de causalidad (Todo acontecimiento tiene un antecedente del que se sigue según reglas)	Principio de inercia (Todos los cambios en el movimiento de los cuerpos provienen de fuerzas exteriores)
Interacción	Comunidad de interacción (Todas las cosas que existen simultáneamente están relacionadas recíprocamente)	Igualdad de acción y reacción

Kant mantenía que los tres principios de la mecánica son principios regulativos que deben guiar la búsqueda de leyes empíricas específicas. Estos principios estipulan que, para explicar un acontecimiento, se debe encontrar un conjunto de circunstancias anteriores, a partir de las cuales se siguen, según reglas, acontecimientos del mismo tipo, de tal modo que se conserve la materia, se atribuyan los cambios en el movimiento de los cuerpos a fuerzas extrínsecas al propio cuerpo y la acción se equilibre con la reacción. Kant insistió en que el conocimiento empírico objetivo sólo puede conseguirse si las leyes individuales se formulan de acuerdo con estos principios.

Organización sistemática de las leyes empíricas

Kant sostenía que hay otros principios regulativos que aplicar para la organización de las leyes individuales en una interpretación sistemática de la naturaleza. En la *Crítica del juicio* (1790) declaró que

> el juicio reflexivo, que está obligado a ascender de lo particular en la naturaleza a lo universal, requiere en ese paso un principio que no puede extraer de la experiencia, porque su función es establecer la unidad de todos los principios empíricos bajo otros más altos, y por tanto establecer la posibilidad de su subordinación sistemática. Luego, el juicio reflexivo sólo puede proporcionar tal principio trascendental como ley de y para sí mismo [29].

[29] Immanuel Kant, *Kritik of Judgment*, trad. por J. H. Bernard (Londres: MacMillan, 1892) 17 [ed. cast., *Crítica del Juicio;* Madrid, Espasa-Calpe, 1977 (trad. por Manuel García Morante)].

Según Kant, el principio regulativo general que el juicio reflexivo prescribe para sí mismo es la intencionalidad de la naturaleza.

Kant insistió en que, aunque no se pudiera probar que la naturaleza está intencionalmente organizada, debemos sistematizar nuestro conocimiento empírico contemplando la naturaleza *como si* estuviese organizada de ese modo. Kant creía que la sistematización del conocimiento empírico sólo es posible si actuamos bajo la presuposición de que un «entendimiento» distinto del nuestro nos ha equipado con leyes empíricas particulares dispuestas de tal manera que nos hagan posible una experiencia unificada.

En sí mismo, el principio de intencionalidad de la naturaleza sólo parece decirnos que, si pretendemos construir una subordinación sistemática de las leyes empíricas, debemos actuar en el supuesto de que tal cosa se puede lograr. Presumiblemente podemos excluir conjuntos incompatibles de leyes como inconciliables con la organización intencional de la naturaleza. Pero esto sólo nos proporciona una pequeña pista sobre los tipos de sistema que satisfarían el principio de intencionalidad.

Kant especificó más el significado del principio de intencionalidad formulando una lista de presuposiciones que, creía, eran sugeridas por ese principio:

1) que la naturaleza toma el camino más corto (*lex parsimoniae*) [30];
2) que la naturaleza «no da saltos ni en el curso de sus cambios ni en la yuxtaposición de formas específicamente diferentes (*lex continui in natura*)»;
3) que en la naturaleza existe sólo un pequeño número de tipos de interacción causal;
4) que en la naturaleza existe una subordinación de especies y géneros que nos es comprensible; y
5) que es posible incorporar especies bajo géneros progresivamente más amplios [31].

Estos presupuestos se convierten en principios regulativos cuando el investigador interroga a la naturaleza suponiendo que los pre-

---

[30] A Kant le impresionó mucho el principio de mínima acción de Maupertuis, principio a partir del cual —con una interpretación adecuada de «acción»— pueden deducirse las leyes que gobiernan el equilibrio estático, los choques y la refracción. El principio de mínima acción, como el principio del mínimo esfuerzo de Leibniz, parecían proporcionar una razón de por qué se obedecen estas leyes individuales. Maupertuis interpretaba el principio como evidencia de la actividad intencionada del Creador. Kant, sin embargo, sólo atribuyó al principio el carácter de principio regulativo.

[31] Ibid., 20-4.

supuestos se han cumplido. Kant mantenía que estos principios regulativos especifican cómo *debemos* juzgar con el fin de conseguir un conocimiento sistemático de la naturaleza [32].

En la *Crítica de la razón pura*, Kant sugirió tres principios regulativos adicionales para guiar la investigación en las disciplinas taxonómicas: un principio de homogeneidad, que estipula que las diferencias específicas deben dejarse de lado, de modo que las especies puedan agruparse en géneros; un principio de especificación, que estipula que deben destacarse las diferencias específicas, de tal manera que las especies puedan dividirse en subespecies; y un principio de continuidad de las formas, que estipula que debe haber una transición continua y gradual de especie a especie. Kant mantenía que el principio de homogeneidad es un freno contra el hallazgo de una extravagante variedad de especies y géneros, que el principio de especificación es un freno contra la generalización excesiva, y que el principio de continuidad de las formas une los dos criterios exigiendo el equilibrio entre ellos [33].

Además de prescribir estos diversos principios regulativos, Kant defendió el uso de idealizaciones en las teorías científicas. Se dio cuenta de que en muchos casos la organización sistemática de las leyes empíricas se ve facilitada por la introducción de una simplificación conceptual. De ahí que no deseara limitar la materia prima de las teorías científicas a conceptos «derivados de la naturaleza». Kant citó los conceptos de «tierra pura», «agua pura» y «aire puro» como ejemplos de idealizaciones que no se infieren de los fenómenos, y sugirió que el uso de tales conceptos facilita la explicación sistemática de los fenómenos químicos [34]. Los ejemplos de Kant tienen menos fuerza que las idealizaciones expresamente formuladas de Galileo, «péndulo ideal» y «caída libre en el vacío», pero debe agradecérsele a Kant la opinión de que un empirismo ingenuo no proporciona una base conceptual suficiente para la ciencia.

Explicaciones teleológicas. El principio de intencionalidad nos anima a investigar la naturaleza *como si* las leyes que descubrimos fuesen parte de un sistema de leyes dispuesto por un «entendimiento» distinto del nuestro. Si procedemos sobre esta base, estamos obligados a preguntarnos sobre el lugar de las leyes particulares en el sistema de la naturaleza como un todo. Esto es particularmente cierto en las ciencias biológicas. No podemos evitar el preguntarnos acerca

---

[32] Ibid., 21.

[33] Kant, *Critique of Pure Reason*, trad. por F. Max Müller (Nueva York: MacMillan, 1934), 530 [ed. cast., *Crítica de la razón pura;* Madrid, Alfaguara, 1978 (Edición de Pedro Ribas)].

[34] Ibid., 519.

de la intención a la que sirven los patrones observados de estructura, función y conducta. Las respuestas a tales cuestiones son con frecuencia explicaciones teleológicas, caracterizadas por el uso de la expresión «con el fin de» o una equivalente.

Kant pensaba que las explicaciones teleológicas eran de valor para la ciencia por dos razones. En primer lugar, las explicaciones teleológicas tienen valor heurístico para la búsqueda de leyes causales. Kant mantenía que formular cuestiones acerca de «fines» puede sugerir nuevas hipótesis acerca de «medios», extendiendo así nuestro conocimiento de la interacción mecánica de los sistemas y de sus partes [35]. En segundo lugar, las interpretaciones teleológicas contribuyen al ideal de la organización sistemática del conocimiento empírico suplementando a las interpretaciones causales disponibles. Kant pensaba que las interpretaciones causales deben extenderse lo más posible, pero era pesimista acerca de una interpretación causal amplia de los procesos de la vida.

El pesimismo de Kant se basaba en su concepción de la naturaleza de los organismos vivos. Según Kant, los organismos vivos exhiben una dependencia recíproca entre la parte y el todo; no sólo el todo es lo que es en virtud de la organización de sus partes, sino que también una parte es lo que es en virtud de su relación al todo. Cada parte de un organismo viviente se relaciona con el todo a la vez como causa y como efecto. Un organismo es a un tiempo un todo organizado y un todo que se autoorganiza. Kant pensaba que esta dependencia recíproca entre parte y todo no podía explicarse completamente mediante leyes causales. Las leyes causales establecen únicamente qué estados de un organismo se siguen de otros estados, de acuerdo con una regla.

Hay, por tanto, límites para una interpretación causal de la naturaleza. Kant estableció los límites pero no aconsejó la vuelta a una «teleología fácil» en la que se descartaran las estructuras y funciones de los organismos por medio de la referencia a «causas finales». Para Kant, la explicación adecuada de los fenómenos naturales se efectúa en términos de leyes que establecen los patrones según los cuales suceden los acontecimientos. El concepto de causalidad es constitutivo del conocimiento empírico objetivo; el concepto de intención no lo es. Kant mantenía que la intencionalidad puede ser sólo un principio regulativo por medio del cual la razón elige como objetivo la organización sistemática de las leyes empíricas. Redisponiendo la teleología al nivel de la actividad reguladora de la razón,

---

35 Kant, *Kritik of Judgment*, 327.

Kant consiguió la integración de los énfasis teleológico y mecanicista que Leibniz había buscado.

II. Las teorías del procedimiento científico

John Herschel (1792-1871) era hijo del gran astrónomo William Herschel. Los logros del mayor de los Herschel incluyen el descubrimiento de Urano y la reunión de valiosos datos sobre las estrellas dobles y las nebulosas.

John Herschel estudió en Cambridge, y después consagró su vida a los propósitos de la ciencia. Entre sus logros científicos se hallan los estudios de la doble refracción de los cristales, experimentos sobre fotografía y fotoquímica, un método de calcular las órbitas de las estrellas binarias y numerosas observaciones astronómicas. Herschel pasó el período que va de 1834 a 1838 en el Cabo de Buena Esperanza, donde extendió con éxito a los cielos meridionales la exploración de estrellas dobles y nebulosas que hizo su padre.

Herschel publicó *A Preliminary Discourse on the Study of Natural Philosophy* (Discurso preliminar sobre el estudio de la filosofía natural) en 1830. Su análisis del papel de las hipótesis, teorías y experimentos en la ciencia influyeron, según propio reconocimiento, en Whewell, Mill y Darwin, entre otros.

William Whewell (1794-1866) se graduó en el Trinity College, en Cambridge, donde fue nombrado profesor de mineralogía (1828), profesor de filosofía moral (1838) y Vicerrector (1842). Cooperó en la introducción en Inglaterra de la versión continental del cálculo infinitesimal, y fue en gran manera responsable de la ampliación del curso de estudios en Cambridge.

Whewell llevó a cabo amplias investigaciones sobre los cometas, y fue reconocido —por Lyell y Faraday, entre otros— como una autoridad sobre nomenclatura científica. Acabó su extensa *History of the Inductive Sciences* (Historia de las ciencias inductivas) en 1837, y basó su *Philosophy of the Inductive Sciences* (Filosofía de las ciencias inductivas) (1840) en los resultados de este análisis histórico.

Emile Meyerson (1859-1933) nació en Lublin, en la Polonia rusa, estudió en varias universidades europeas, y después combinó la investigación sobre la historia y filosofía de la ciencia con la práctica de la química en Francia. Meyerson concebía la historia de la ciencia como una búsqueda continua de lo que permanece a través del cambio. Entre sus obras publicadas están *Identity and Realit* (Identidad y realidad) (1907), y estudios sobre la mecánica cuántica y la teoría de la relatividad.

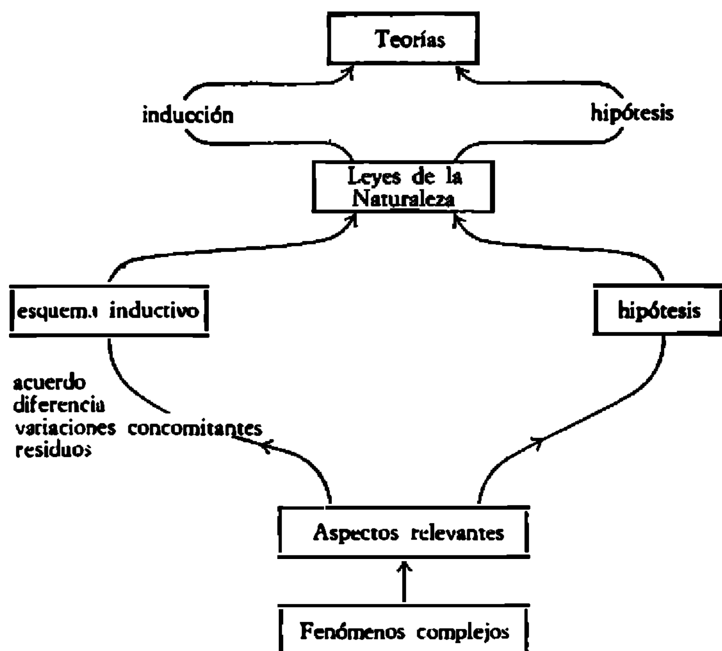
La teoría del método científico de John Herschel

El *Preliminary Discourse on Natural Philosophy* (1830) de John Herschel fue la obra más vasta y equilibrada sobre filosofía de la ciencia de su época. Herschel fue uno de los primeros científicos ingleses de su tiempo, y sus escritos sobre el método científico se distinguieron por sus cuidadosos análisis de descubrimientos recientes en física, astronomía, química y geología.

Una de las contribuciones importantes de Herschel a la filosofía de la ciencia fue la clara distinción entre el «contexto de descubrimiento» y el «contexto de justificación». Insistió en que el procedimiento usado para formular una teoría es estrictamente irrelevante para el problema de su aceptabilidad. Un meticuloso ascenso inductivo y una mera conjetura se hallan al mismo nivel si sus consecuencias deductivas se ven confirmadas por la observación.

Contexto de descubrimiento

Aunque respetaba las opiniones de Francis Bacon sobre la investigación científica, Herschel era consciente de que muchos descubrimientos científicos importantes no se ajustaban al patrón baconiano. Por esa razón, mantenía que hay dos modos distintos en los que el científico puede pasar de las observaciones a las leyes y teorías. Un enfoque es la aplicación de esquemas inductivos específicos. El otro es la formulación de hipótesis. La visión que Herschel tenía del contexto de descubrimiento puede representarse esquemáticamente del modo siguiente:



Patrón de descubrimiento de Herschel

Según Herschel, el primer paso del procedimiento científico es subdividir los fenómenos complejos en sus partes o aspectos constituyentes y fijar la atención en aquellas propiedades que son decisivas para la explicación de los fenómenos. Para explicar el movimiento de los cuerpos, por ejemplo, hay que centrarse en propiedades tales como fuerza, masa y velocidad. El principal ejemplo de Herschel de la reducción de un fenómeno complejo a sus aspectos relevantes es el análisis del sonido en la vibración de una fuente, la transmisión del movimiento vibratorio a través de un medio, su recepción por el oído y la producción de la sensación. Sostenía que una comprensión completa del sonido requería el conocimiento de los fenómenos de choque que tienen lugar en la vibración, el conocimiento de la interacción entre una partícula móvil y las partículas que la rodean y el conocimiento de la fisiología de las sensaciones auditivas [36].

Leyes de la naturaleza. Los fenómenos adecuadamente analizados son la materia prima a partir de la cual el científico pretende formular las «leyes de la naturaleza». Herschel incluyó entre las leyes de la naturaleza tanto las correlaciones de propiedades como las secuencias de acontecimientos. Entre las correlaciones de propiedades con carácter de ley se encuentran la ley de Boyle y la generalización de que las sustancias con doble refracción exhiben colores de un modo periódico bajo la luz polarizada. Herschel habló de tales correlaciones como de «hechos generales». Entre las secuencias de acontecimientos con carácter de ley se encuentran las leyes galileanas de caída libre y de la trayectoria parabólica de los proyectiles.

Herschel señaló que las leyes de la naturaleza se afirman implícitamente con la estipulación de que se cumplan ciertas condiciones limítrofes. Por ejemplo, la ley de caída libre se afirma sólo para los movimientos en el vacío, y la ley de Boyle se afirma sólo para cambios a temperatura constante.

Herschel señaló dos rutas distintas desde los fenómenos de las leyes de la naturaleza. La primera ruta para el descubrimiento de leyes consiste en la aplicación de esquemas inductivos específicos. La ley de Boyle, por ejemplo, se descubrió estudiando la variación del volumen de un gas respecto a la presión, y generalizando a partir de los resultados experimentales. Por ejemplo, dados los datos:

---

36 John F. W. Herschel, *A Preliminary Discourse on the Study of Natural Philosophy* (Londres: Longman, etc., 1830), 88-90.

P	V
0,5	2,0
1,0	1,0
2,0	0,5
5,0	0,2

el investigador puede concluir que $P \propto (1/V)$.

La segunda ruta para el descubrimiento de leyes es la formulación de hipótesis. Herschel enfatizó que esta última ruta hacia las leyes no puede reducirse a una aplicación de reglas fijas. Citó como ejemplo la hipótesis de Huygens de que el rayo extraordinario en la doble refracción del espato de Islandia se propaga elípticamente. Aun cuando Huygens no poseía idea alguna del movimiento ondulatorio transversal de la luz, fue capaz de formular una ley que da cuenta de la refracción doble gracias a esta hipótesis de la propagación elíptica. Según Herschel, la hipótesis de Huygens no puede presentarse como la conclusión de un esquema inductivo [37].

Teorías. El descubrimiento de leyes es sólo el primer paso en las interpretaciones científicas. La segunda etapa es la incorporación de estas leyes a teorías. De acuerdo con Herschel, las teorías surgen gracias a una nueva generalización inductiva o gracias a la creación de audaces hipótesis que establezcan una interrelación entre leyes previamente inconexas.

Herschel combinó el ideal baconiano de una jerarquía de generalizaciones científicas con un énfasis perceptivo del papel de la imaginación creativa en la construcción de la jerarquía. Una teoría imaginativa que le impresionó fue la teoría del electromagnetismo de Ampère. Ampère explicó la atracción o repulsión mutua de los imanes postulando la existencia de corrientes eléctricas en circulación por el interior de los imanes. Ampère no llegó a esta teoría mediante la aplicación de un esquema inductivo a las leyes de la electricidad y el magnetismo. Sin embargo, la teoría tiene consecuencias contrastables, y Herschel insistió en que su aceptabilidad viene determinada, no por el método seguido para su formulación, sino por la confirmación experimental de estas consecuencias [38].

Contexto de justificación

Herschel subrayó que el acuerdo con las observaciones es el criterio más importante para la aceptabilidad de las leyes y teorías

---

[37] J. Herschel, *Familiar Lectures on Scientific Subjects* (Nueva York: George Routledge and Sons, 1871), 362.

[38] J. Herschel, *Preliminary Discourse*, 202-03.

científicas. Además, insistió en que algunos casos confirmatorios son de mayor significación que otros.

Un tipo importante de caso confirmatorio es la extensión de una ley a casos extremos. Herschel señaló, por ejemplo, que la idéntica aceleración de una moneda y una pluma en un vacío experimentalmente conseguido es una «prueba rigurosa» de la ley galileana de caída de los cuerpos [39].

Un segundo tipo importante de caso confirmatorio es un resultado inesperado que indica que una ley o teoría tiene un alcance insospechado. Herschel declaró que

la mejor y más segura característica de una inducción amplia y bien fundada... es que sus verificaciones surjan, como si dijéramos, espontáneamente, de las zonas en las que menos se las podía esperar, o incluso entre casos de un tipo que al principio se consideraba hostil hacia ellas [40].

Señaló, por ejemplo, que el descubrimiento de las órbitas elípticas de los sistemas de estrellas dobles era una confirmación inesperada de la mecánica newtoniana [41], y que la existencia de una discrepancia entre las velocidades calculada y observada del sonido era una confirmación inesperada de la ley de generación de calor por compresión de un fluido elástico [42].

Un tercer tipo importante de caso confirmatorio es el «experimento crucial». Herschel consideraba los experimentos cruciales como pruebas de destrucción a las que deben sobrevivir las teorías aceptables.

Citó con admiración un experimento que había sido sugerido por Francis Bacon para determinar si la aceleración hacia abajo de los cuerpos es el resultado de la atracción de la Tierra o de algún mecanismo interno de los propios cuerpos. Bacon había sugerido que la cuestión podría decidirse comparando la conducta de un reloj de pesas y de un reloj de resorte a grandes altitudes y en lo profundo de las minas [43].

Además, Herschel concedió a Pascal el mérito de haber diseñado un experimento crucial para establecer si la subida del mercurio en tubos cerrados es el resultado de la presión atmosférica o de un «horror al vacío». Según Herschel, la comparación que hizo Pascal de las alturas de una columna de mercurio en la base y en la cima de

39 Ibid., 168.
40 Ibid., 170.
41 Ibid., 280.
42 Ibid., 171-72.
43 Ibid., 186-87.

una montaña refutó la hipótesis del «horror» y dejó el campo libre a la hipótesis del «mar de aire» de Torricelli [44].

Se puede objetar que, si bien los experimentos propuestos por Bacon y Pascal pueden proporcionar una sorprendente confirmación de hipótesis particulares, sólo se les puede llamar propiamente «cruciales» si todas las hipótesis alternativas posibles menos una son incompatibles con los resultados obtenidos. El no dar el peso debido a este requisito condujo a Herschel y a muchos otros científicos del siglo XIX a aceptar la determinación de Foucault de la mayor velocidad de la luz en el agua que en el aire como un experimento «crucial». El resultado de Foucault era compatible con la teoría ondulatoria de Huygens, pero inconciliable con la teoría corpuscular de Newton. Muchos científicos concluyeron a partir de esto que la luz debe ser «realmente» una onda. El supuesto implícito de que estas dos teorías son las dos únicas interpretaciones posibles de los fenómenos ópticos resultó más tarde ser incorrecto.

A pesar del hecho de que a ciertos experimentos se les ha atribuido demasiada significación en la evaluación de teorías rivales, la actitud general que promueve la búsqueda de casos refutatorios ha tenido la máxima importancia en la historia de la ciencia. Herschel promovió esta actitud. Exigió de los científicos que asumiesen el papel de adversarios de sus propias teorías, y que buscasen tanto refutaciones directas como excepciones que limitaran el campo de aplicación de estas teorías. Herschel creía que el valor de una teoría sólo se prueba por su capacidad para resistir tales ataques.

Conclusiones de Whewell sobre la historia de las ciencias

Morfología del progreso científico

William Whewell, contemporáneo de Herschel, buscó la base para su filosofía de la ciencia en una amplia exploración de la historia de la ciencia. Whewell propuso examinar el proceso real de descubrimiento en las distintas ciencias con el fin de ver si se ponían de manifiesto algunos patrones.

Whewell afirmó la originalidad de su enfoque, señalando que los anteriores escritores sobre filosofía de la ciencia habían considerado la historia de la ciencia como un mero almacén de ejemplos que podían citarse para ilustrar cuestiones particulares acerca del método científico. Whewell propuso invertir esta relación que había convertido la historia de la ciencia en dependiente de la filosofía de la ciencia.

[44] Ibid., 229-30.

Whewell era muy consciente de la metodología de la investigación histórica. Reconoció que la reconstrucción del pasado requiere necesariamente actos de síntesis por parte del historiador. De acuerdo con esto, eligió ciertas categorías interpretativas para guiar sus estudios históricos. Whewell concibió el progreso científico como una unión exitosa de hechos e ideas, y tomó la polaridad de hecho e idea como principio metodológico básico para la interpretación de la historia de la ciencia. Provisto de este principio, pretendió mostrar el progreso de cada ciencia rastreando el descubrimiento de sus hechos pertinentes y la integración de estos hechos en ideas apropiadas.

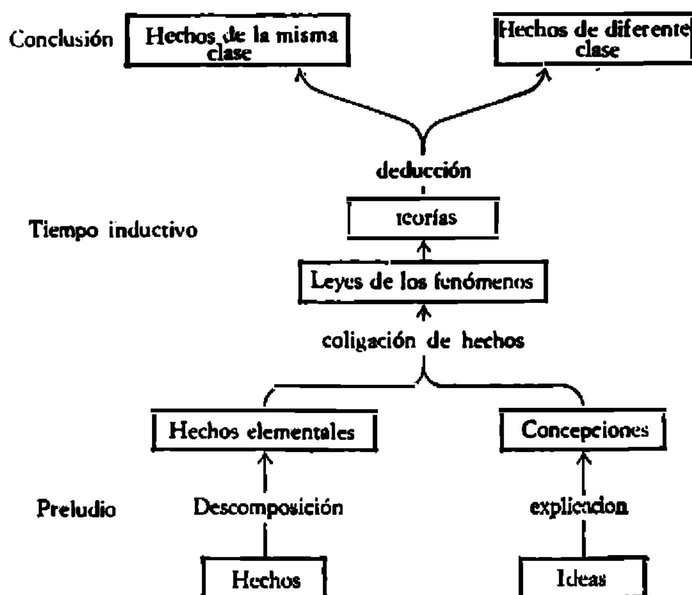
Hechos e ideas. Whewell habló algunas veces de los «hechos» como de informes de nuestra experiencia perceptiva de objetos individuales. Sin embargo, insistió en que éstos constituyen únicamente un tipo de hechos. Considerado con amplitud, un hecho es cualquier porción de conocimiento que forma la materia prima para la formulación de leyes y teorías. Desde este punto de vista, las leyes de Kepler eran hechos sobre los que teorizó Newton. Whewell sostenía que no existe sino una diferencia relativa entre hecho y teoría. Si una teoría se incorpora dentro de otra teoría, se convierte en un hecho por derecho propio.

Whewell llamó «ideas» a los principios racionales que ponen a los hechos en relación. Las ideas expresan los aspectos relacionales de la experiencia que son condición necesaria para la comprensión. Whewell adhirió a la tesis de Kant de que las ideas son prescritas a, y no derivadas de, las sensaciones. Whewell incluyó entre las ideas nociones generales, como espacio, tiempo y causa, e ideas básicas de las ciencias particulares. Ejemplos de estas últimas son la «afinidad electiva» en química, las «fuerzas vitales» en biología, y los «tipos naturales» en taxonomía.

Whewell admitía que no podía haber una cosa tal como un «hecho puro» aislado de las ideas. Cualquier hecho acerca de un objeto o proceso envuelve necesariamente las ideas de espacio, tiempo o número. En consecuencia, incluso los hechos más simples llevan consigo algo de la naturaleza de las teorías. La distinción de Whewell entre hecho y teoría es en el fondo una distinción psicológica. Cuando llamamos a algo un «hecho», no somos normalmente conscientes del modo en que los principios relacionales integran nuestra experiencia sensible. Por ejemplo, tomamos como un hecho el que un año dura aproximadamente 365 días. Pero este hecho lleva consigo las ideas de tiempo, número y recurrencia. Llamamos a esta relación un «hecho» por la única razón de que no atendemos a las ideas asociadas. Por el contrario, cuando decimos que algo es una «teoría»,

nuestra atención se dirige a las ideas aplicadas a integrar hechos. Whewell declaró que «tendremos una distinción inteligible entre hecho y teoría, si consideramos a la teoría y al hecho, respectivamente, como una inferencia consciente e inconsciente, a partir de los fenómenos que se presentan a nuestros sentidos» [45]. Creía que los conceptos de «hecho», «idea» y «teoría» tenían valor para la interpretación de la historia de la ciencia, aun cuando toda teoría puede ser también un hecho y todo hecho participa de la naturaleza de la teoría.

El patrón del descubrimiento científico. El patrón del descubrimiento científico que Whewell afirmó ver en la historia de la ciencia es una progresión en tres tiempos que comprende un preludio, un tiempo inductivo y una conclusión. El preludio consiste en una colección y descomposición de hechos y en una clarificación de conceptos. El tiempo inductivo surge cuando se agrega a los hechos un esquema conceptual particular. Y su conclusión es la consolidación y extensión de la integración así conseguida. Este patrón de descubrimiento puede esquematizarse como sigue:



Patrón de descubrimiento de Whewell

[45] William Whewell, *Philosophy of the Inductive Sciences* (Londres, John W. Parker, 1847), vol. I, 42.

Aunque Whewell afirmó que este patrón se repetía en la historia de las ciencias, tuvo cuidado en señalar que con frecuencia se solapan las etapas en el interior del patrón. Dentro de la historia de una ciencia particular, la dilucidación de los conceptos puede acompañar, tanto como preceder, a la formulación de leyes, y la formulación de teorías puede acompañar, tanto como preceder, a la verificación de leyes. Sin embargo, afirmó haber representado, con este patrón, la morfología del progreso científico.

Descomposición de hechos y dilucidación de conceptos. Whewell sostenía que la descomposición de hechos y la dilucidación de conceptos son etapas necesarias en la construcción de teorías. La descomposición de hechos es una reducción de hechos complejos a hechos «elementales», los cuales establecen relaciones entre ideas tan claras y distintas como las de espacio, tiempo, número y fuerza. En muchos casos, esto se consigue centrándose en las cualidades que sufren variación cuantitativa y desarrollando técnicas para registrar los valores de estas cualidades.

La noción de dilucidación de conceptos es más difícil de atrapar. Dentro de la historia de la ciencia, las discusiones entre científicos arrojan con frecuencia el resultado de una clarificación de conceptos. Whewell señaló que había sido mediante tales discusiones como se habían aclarado los conceptos de «fuerza», «polarización» y «especies», y pedía una aclaración similar del concepto de «vida».

Una dificultad de la noción de dilucidación de Whewell es la naturaleza de la clarificación alcanzada. Whewell habló de los conceptos como de «modificaciones especiales» de las ideas fundamentales de las ciencias [46]. Como tales, los conceptos tienen un ámbito de aplicación menos amplio que las propias ideas fundamentales. Whewell incluyó entre los conceptos la «fuerza de aceleración» y la «combinación neutral de elementos» [47]. Sostenía que tales conceptos quedan explicados cuando sus relaciones lógicas con las ideas fundamentales se reconocen con claridad.

Whewell creía que el significado de una idea fundamental puede expresarse por medio de un conjunto de axiomas que establezcan verdades básicas sobre la idea. Mantenía que un concepto derivado se dilucida solamente cuando se lo relaciona con las ideas fundamentales de tal manera que se comprenda la «fuerza racional necesaria»

---

46 Whewell, *Novum Organon Renovatum* (Londres, John W. Parker & Son, 1858), 30.
47 Ibid., 31.

de esos axiomas. Y comprender la «fuerza racional necesaria» de los axiomas es contemplar de forma «clara y segura» la propia idea [48].

La pregunta inevitable en este punto es cómo reconocer que un científico ha logrado una aprehensión «clara y segura» de una idea. Por supuesto, retrospectivamente, se puede calibrar la claridad de una idea según el éxito de la teoría en la que está engarzada. Según este enfoque, se puede concluir, como hizo Whewell, que el concepto de inercia fue progresivamente clarificado por Galileo, Descartes y Newton.

Whewell mantenía que, además de ser claros, los conceptos científicos útiles son «apropiados» a los hechos a que se aplican. Admitió que, en su mayor parte, se puede establecer lo apropiado de los conceptos indicando solamente la confirmación de leyes y teorías que los utilizan. No obstante, pensaba que en algunos casos el criterio sobre lo apropiado de las conclusiones podía usarse para rechazar por anticipado interpretaciones mal dirigidas. Por ejemplo, dado que el objetivo propio de la fisiología es la verdad acerca de los «poderes vitales», se pueden excluir de la fisiología las interpretaciones basadas exclusivamente en principios mecánicos o químicos.

Coligación de hechos. Whewell mantenía que las leyes y las teorías son una «coligación» en la que el investigador agrega un concepto a un conjunto de hechos. Hablo de la coligación como de una «vinculación de hechos» y eligió la formulación de la tercera ley de Kepler para ejemplificar este proceso de integración. Kepler obtuvo éxito en vincular hechos sobre los períodos de revolución de los planetas y las distancias de éstos al Sol, por medio de conceptos tales como «cuadrados de números», «cubos de distancias» y «proporcionalidad» [49].

De acuerdo con Whewell, el logro de Kepler fue un triunfo de la inducción. Declaró que, en su uso adecuado, «la inducción es un término aplicado para describir el proceso de una verdadera coligación de hechos por medio de un concepto exacto y apropiado» [50]. Hay varios aspectos del tratamiento de la inducción por Whewell que merecen comentario.

Whewell sostenía que la inducción es un *proceso* de descubrimiento y no un esquema para probar proposiciones. Esto no quiere decir que Whewell no estuviese interesado en el problema de la evaluación de las pruebas a favor de las generalizaciones inductivas. Pero él consideró esto como un problema de la «lógica de la induc-

48 Ibid., 41.
49 Ibid., 59-60.
50 Ibid., 70.

ción». La inducción en sí misma es el proceso de generalización a partir de los hechos de tal modo que se logre una coligación.

El examen de Whewell de la historia de la ciencia le convenció de que la coligación de hechos se consigue a través de la intuición creadora de los científicos, y no mediante la aplicación de reglas inductivas específicas. Observó que el éxito de la inducción «parece consistir en idear varias hipótesis provisionales y elegir la acertada. Pero el suministro de hipótesis apropiadas no puede conseguirse según reglas, ni sin talento inventivo» [51]. Según Whewell, la inducción es un proceso de invención y ensayo. Citó el ejemplo de Kepler, quien intentó ajustar los hechos del movimiento planetario a numerosas órbitas ovoides, antes de lograr finalmente el éxito con la hipótesis de las órbitas elípticas. Además, Whewell enumeró una serie de casos de «felices e inexplicables golpes de talento inventivo» en la historia de la ciencia [52].

La principal tesis de Whewell acerca de la inducción es que el proceso de descubrimiento científico no puede ser reducido a reglas. Sin embargo, reconoció que, con frecuencia, se afirman como principios regulativos, en la selección de hipótesis, consideraciones sobre simplicidad, continuidad y simetría. Whewell sugirió también que los métodos inductivos específicos, como el método de los cuadrados mínimos y el de los residuos, son valiosos en la formulación de leyes matemáticamente cuantificadas.

Un corolario de la posición de Whewell sobre la inducción y las hipótesis es que una inferencia inductiva es siempre algo más que una colección de hechos. Whewell estableció que «los hechos no sólo se vinculan, sino que se ven desde un nuevo punto de vista. Se añade un nuevo elemento mental; y se requiere una constitución y disciplina mentales peculiares para hacer esa inducción» [53].

Analogía del río y sus afluentes. Whewell comparó el desarrollo evolutivo de una ciencia con la confluencia de los afluentes que van formando un río [54]. Concluyó, a partir de sus estudios históricos, que una ciencia evoluciona a través de la progresiva incorporación de resultados pasados a teorías presentes. Citó la teoría de la atracción gravitatoria de Newton como el paradigma de este crecimiento por incorporación. La teoría de Newton incorporó las leyes de Kepler, la

51 Ibid., 59.
52 Ibid., 64.
53 Ibid., 71.
54 Whewell, *History of the Inductive Sciences* (Nueva York, D. Appleton, 1859), vol. I, 47.

ley de caída libre de Galileo, los movimientos de las mareas y otros hechos diversos.

Whewell se daba cuenta de que las sucesivas interpretaciones de los fenómenos particulares no siempre son conciliables. A pesar de esto, concluyó que la ciencia era una progresión continua, más bien que una serie de revoluciones. Su énfasis recaía en aquellos aspectos de las teorías desechadas que facilitaban la formación de la teoría siguiente. Por ejemplo, admitió que la teoría del oxígeno de Lavoisier había sustituido a la teoría del flogisto, y que muchos hechos que se explicaban en la teoría del oxígeno eran incompatibles con la teoría del flogisto, pero sostenía que, no obstante, la teoría del flogisto había desempeñado un papel positivo en la historia de la química, debido a que esta teoría clasificó conjuntamente los procesos de combustión, acidificación y respiración[55]. En opinión de Whewell, una teoría contribuye al progreso científico si reúne, aunque sea por razones equivocadas, hechos que están realmente relacionados.

Concurrencia de inducciones

Whewell afirmó que la historia de la ciencia revela una clave sobre la «lógica de la inducción». Esta clave es la analogía del río y sus afluentes. Concluyó que, debido a que el progreso científico es una incorporación sucesiva de leyes a teorías, un conjunto aceptable de generalizaciones dentro de una ciencia particular debe exhibir un determinado patrón estructural. Este patrón es una «tabla inductiva» que tiene la forma de la relación río-afluente. La tabla inductiva es una pirámide invertida, con hechos concretos en la base y generalizaciones del más amplio alcance en el vértice. La transición de la base al vértice de la tabla refleja las generalizaciones inductivas progresivas, en las que las observaciones y las generalizaciones descriptivas son incluidas bajo teorías de alcance creciente.

Whewell mantenía que la tabla inductiva especifica la forma de un conjunto válido de inferencias inductivas, de modo muy parecido a como el silogismo especifica la forma de las inferencias deductivas válidas. Sin embargo, tuvo cuidado para no extender demasiado la analogía. Señaló que mientras las formas silogísticas son esquemas que se convierten en argumentos deductivos válidos con la inserción de nombres de clases, la tabla inductiva es incompleta como esquema para la construcción de inferencias inductivas válidas. Esto se debe a que las generalizaciones de un nivel no se unen simplemente para

---

55 Ibid., II, 267-69.

formar generalizaciones más elevadas; en lugar de ello, las generalizaciones más incluyentes incorporan las generalizaciones de menor nivel sólo mediante el agregado de un concepto o conjunto de conceptos. Es mediante la integración conceptual, y no por la mera suma o enumeración, como se descubre que las generalizaciones de menor nivel se hallan conectadas. Por esta razón, Whewell insistió en que una tabla inductiva *completa* debe hacer referencia a los conceptos específicos insertados en cada nivel de generalidad. Por ejemplo, una tabla de la generalización inductiva desde las leyes de Kepler a las de Newton tendría a un tiempo la forma de una pirámide invertida

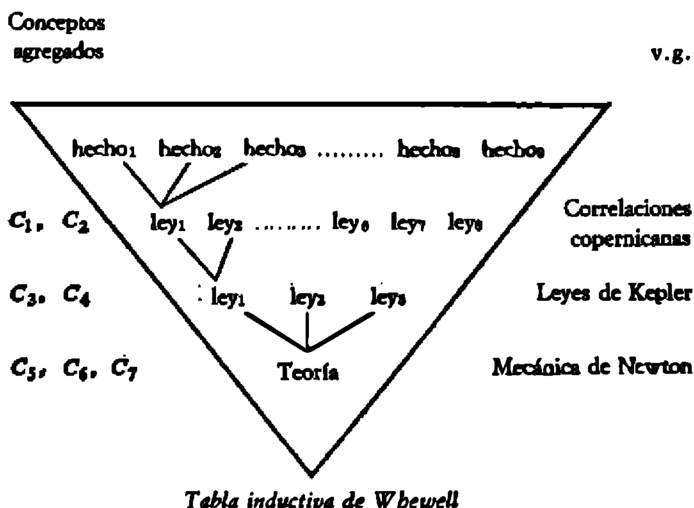


Tabla inductiva de Whewell

y estipularía que la incorporación se realiza por medio de conceptos añadidos, como fuerza, movimiento inercial y espacio y tiempo absolutos.

Whewell sostuvo que la incorporación de dos o más generalizaciones a una teoría más incluyente es en sí misma un criterio de aceptabilidad para las teorías científicas. Se refirió a esta incorporación con el nombre de «concurrencia de inducciones», y declaró que «no puede señalarse ningún ejemplo, en toda la historia de la ciencia, en la medida en que yo la conozco, en que esta concurrencia de inducciones haya dado testimonio a favor de una hipótesis después de haberse descubierto que era falsa» [56]. El que se consiga o no la con-

[56] Whewell, *Novum Organon Renovatum*, 80.

currencia de inducciones en un determinado caso depende de lo adecuados que sean los conceptos teóricos para vincular dos o más leyes. La teoría cinética de los gases es un buen ejemplo de una concurrencia de inducciones con éxito. El concepto newtoniano de choques elásticos entre las moléculas de un gas basta para vincular en una teoría las leyes empíricas de Boyle, Charles y Graham.

Historización de la verdad necesaria

Se ha indicado que Whewell interpretó la historia de las ciencias en términos de la distinción kantiana entre forma y contenido del conocimiento. El conocimiento científico, para Whewell, es una vinculación de hechos mediante ideas. Pero puesto que Whewell sostenía que estas ideas expresan verdades necesarias, podría parecer que al menos algún conocimiento científico puede conseguir el rango de verdad necesaria.

En una obra temprana, Whewell mantenía que los axiomas de la geometría y las leyes fundamentales de la naturaleza difieren en cuanto a su rango cognoscitivo. Los axiomas geométricos son verdades necesarias, las leyes de las ciencias naturales no lo son [57]. Posteriormente, sin embargo, cambió de opinión, e insistió en que algunas leyes de las ciencias naturales pueden llegar a ser correctamente consideradas como verdades necesarias.

Whewell admitió la naturaleza paradójica de esta afirmación. Estaba de acuerdo con Hume en que ningún elemento de juicio empírico puede probar que una relación no podría ser otra que la que es. Y, sin embargo, pensaba que ciertas leyes científicas han conseguido un carácter de necesidad.

El intento de Whewell de resolver la paradoja gira sobre la distinción entre *forma* y *materia* de las leyes fundamentales de la naturaleza. Sostenía que las leyes del movimiento de Newton, digamos, ejemplifican la *forma* de la idea de causalidad. Pero dado que la idea de causalidad es una condición necesaria de la posibilidad misma de conocimiento empírico objetivo, las leyes de Newton deben compartir esta necesidad. Según Whewell, el significado de la idea de causalidad puede quedar contenido en tres axiomas: 1) nada tiene lugar sin una causa; 2) los efectos son proporcionados a sus causas; y 3) la reacción es igual y opuesta a la acción. Queda para la experiencia, sin embargo, el especificar el *contenido* de estos axiomas. La experiencia enseña que la materia bruta no contiene ninguna causa interna e

[57] Whewell, *Astronomy and General Physics Considered with Reference to Natural Theology* (Filadelfia, Pa.: Carey, Lea and Blanchard, 1833), 164-68.

intrínseca de la aceleración, que las fuerzas se combinan de determinados modos y que ciertas definiciones de «acción» y «reacción» son las adecuadas. Las leyes del movimiento de Newton expresan estos hallazgos. Whewell sostenía que las leyes de Newton proporcionan la interpretación empírica apropiada de los axiomas de la causalidad, consiguiendo con ello el rango de verdades necesarias [58].

Whewell mantenía que el carácter necesario de las leyes fundamentales de la naturaleza deriva de su relación con aquellas ideas que son condiciones necesarias *a priori* del conocimiento empírico objetivo. No especificó la naturaleza de esta relación, aparte de apelar a la noción de que tales leyes «ejemplifican» la forma de las ideas. Sin embargo, mantenía que esta «ejemplificación» aparece gradualmente en el desarrollo histórico de las ciencias. Es una cuestión de clarificación progresiva de la relación de las leyes inductivas más generales con las ideas básicas de las ciencias. Whewell estaba muy seguro de que la obra de Newton estableció el carácter necesario de las leyes generales de la mecánica. Estaba menos seguro acerca de otras leyes generales de las ciencias.

Meyerson y la búsqueda de las leyes de conservación

Emile Meyerson, al escribir en 1908, concedió a Whewell el mérito de ser el primero en explicar correctamente la necesidad *a priori* que distingue a las leyes fundamentales del movimiento de las meras generalizaciones empíricas. Meyerson quería ampliar el análisis de Whewell subdividiendo las leyes científicas en «leyes empíricas» y «leyes causales».

De acuerdo con Meyerson, una ley empírica especifica cómo se altera un sistema cuando se modifican las condiciones apropiadas. Las leyes de este tipo nos capacitan para predecir el resultado de los procesos naturales y manipular estos procesos para que sirvan a nuestros fines. Una ley causal, por el contrario, es una aplicación de la ley de identidad a la existencia de los objetos en el tiempo. Estipula que hay algo que permanece igual a través del cambio. En el caso de una reacción química, por ejemplo, los átomos involucrados permanecen iguales a través del proceso de reordenación.

Meyerson pensaba que, mientras el conocimiento de las leyes empíricas satisface nuestras exigencias de previsión, solamente el conocimiento de las leyes causales satisface nuestro deseo de comprensión. Esto es así en virtud del aspecto dual de las leyes causales. Puesto que una ley causal establece una identidad, implica una verdad necesaria, «que lo que es, es, y no puede no ser» como dijo Aris-

---

[58] Whewell, *Philosophy of the Inductive Sciences*, I, 245-54.

tóteles. Pero una ley causal también tiene un contenido empírico, ya que hace una afirmación acerca de la existencia de objetos en el tiempo. Parecería que una ley causal, según Meyerson, implica tanto una verdad necesaria, la ley de identidad, como un enunciado contingente según el cual una «sustancia» específica permanece idéntica a través de cambios de un tipo dado. Meyerson admitió que el enunciado contingente puede resultar falso. Esto es lo que ha sucedido, por ejemplo, en el caso de la conservación de la masa y de la conservación de la paridad. Meyerson sostenía que, en tales casos, aunque la aplicación de la ley de identidad a la existencia de objetos en el tiempo se comprueba que es incorrecta, la ley de identidad en sí misma no se ve afectada.

Pero la ley de identidad en sí misma es una tautología. No es posible deducir de ella un solo enunciado acerca del mundo. Meyerson se daba cuenta de esto, y, sin embargo, creía que la ley de identidad es una tautología «significativa». Es significativa porque la aplicación correcta de esta ley a la existencia de objetos en el tiempo es una condición necesaria para la comprensión de la naturaleza. El intento de imprimir a la naturaleza la ley de identidad es un importante principio directivo para la investigación científica [59].

La búsqueda de lo que ha permanecido igual a través del cambio ha tenido mucho éxito en la teoría atómica y en las leyes de conservación de la mecánica. Pero, como señaló Meyerson, la exigencia de identidad que imponemos a la naturaleza encuentra resistencia en ciertos puntos. Un ejemplo lo constituye el principio de Carnot, la segunda ley de la termodinámica. El principio de Carnot especifica que los procesos que ocurren naturalmente en un sistema aislado hacen aumentar la entropía del sistema. La entropía es una medida del grado de organización. Un incremento de la entropía representa una disminución del grado de organización del sistema. Pero puesto que existe un incremento unidireccional de la entropía en los procesos que ocurren naturalmente en sistemas aislados, no es posible considerar la entropía como una «sustancia» que se conserva a través de estos procesos. La segunda ley de la termodinámica es una relación de amplio alcance e importancia. Es una relación que «no es causal» en el sentido de Meyerson. Meyerson declaró que «el principio de Carnot es la expresión de la resistencia que la naturaleza opone a la coacción que nuestro entendimiento, a través del principio de causalidad, intenta ejercer sobre ella» [60].

---

59 Emile Meyerson, *Identity and Reality*, trad. por K. Loewenberg (Nueva York: Dover Publications, 1962), 402 [ed. cast., *Identidad y realidad;* Madrid, Reus, 1929 (trad. por J. Xirav Palav)].

60 Ibid., 286.

III. La estructura de las teorías científicas

Pierre Duhem (1861-1916) fue profesor de física en la Universidad de Burdeos (1893-1916). Hizo contribuciones originales a la termodinámica, a la mecánica de los fluidos y a la historia y filosofía de la ciencia. Su investigación sobre la física medieval estableció que la «revolución científica» de los siglos XVI y XVII tenía importantes raíces en la obra medieval de Buridan, Oresme y otros. Esta obra fue un valioso correctivo a la miope visión de la historia de la ciencia que consideraba el período medieval como una época de polémicas estériles. En *The Aim and Structure of Physical Theory* (Propósito y estructura de la teoría física) (1906), Duhem mantenía que las teorías científicas son medios de correlación que agrupan leyes experimentales.

Norman R. Campbell (1880-1949) fue un físico formado en Cambridge que trabajó varios años con *J.J.* Thomson en el *Cavendish Laboratory*, antes de entrar en la *General Electric Company* como físico investigador. Su obra principal sobre filosofía de la ciencia es su póstumamente publicada *Foundations of Science* (Fundamentos de la ciencia) (1957), versión ampliada de *Physics: The Elements* (La física: sus elementos) (1919). El estudio de Campbell se distingue por los cuidadosos análisis de la teoría de la medida y de la estructura de las teorías científicas.

Carl Hempel (1905-) es un filósofo nacido en Alemania, que estudió en Gotinga, Heidelberg y Berlín. Hempel era miembro del grupo de Berlín que apoyó los propósitos y opiniones del Círculo de Viena al comienzo de la década de 1930. Marchó a los Estados Unidos en 1937 y ha enseñado en Yale y en Princeton. Hempel ha escrito importantes ensayos sobre la lógica de la explicación científica y la estructura de las teorías, varios de los cuales forman parte de *Aspects of Scientific Explanation* (1965) (Aspectos de la explicación científica).

Mary B. Hesse (1924-) es Lectora de filosofía de la ciencia en la Universidad de Cambridge. Ha estudiado matemáticas, física e historia y filosofía de la ciencia en la Universidad de Londres, y ha enseñado en las universidades de Londres, Leeds y, como profesora visitante, en Yale, Minesota y Chicago.

La doctora Hesse se ocupa en el presente de desarrollar una visión unificada de la estructura de la ciencia física, basada en la inferencia inductiva, con particular referencia a casos históricos en el uso de modelos y analogías.

R. Harré (1927-) es Lector de filosofía de la ciencia en la Universidad de Oxford. Ha estudiado matemáticas y física en la Universidad de Auckland y filosofía en la Universidad de Oxford. Antes de su nombramiento en Oxford, ha enseñado en Pakistán y en Birminghan y Leicester.

Crítico vigoroso de las filosofías deductivista y positivista de la ciencia, Harré se ocupa actualmente en un programa para reorientar la metodología de las ciencias sociales.

Geometría pura y geometría física

La comprensión adecuada del proceso de construcción de teorías presupone el reconocimiento de la distinción entre un sistema axio-

mático y su aplicación a la experiencia. La construcción de geometrías no euclídeas en el siglo XIX llamó la atención hacia esta distinción. Lobachevsky, Bolyai y Riemann inventaron sistemas axiomáticos que diferían en aspectos importantes del sistema euclídeo.

En el sistema euclídeo se supone que por un punto exterior a una recta sólo puede trazarse una paralela. En los sistemas no euclídeos se hicieron supuestos diferentes. Lobachevsky y Bolyai sustituyeron el supuesto euclídeo por el axioma de que por un punto dado pasan dos paralelas a una recta dada. A partir de este axioma, y de los otros axiomas y definiciones de su sistema, Lobachevsky dedujo el teorema de que la suma de los ángulos interiores de un triángulo es siempre menor de 180°, y disminuye al aumentar el área del triángulo. Riemann sustituyó el supuesto euclídeo por el axioma de que a través de un punto no pasa ninguna paralela a una recta dada. Un teorema de la geometría de Riemann es que la suma de los ángulos interiores de un triángulo es siempre superior a 180°, y aumenta al aumentar el área del triángulo.

Como sistemas deductivos formales, no hay base para juzgar que una de estas alternativas es superior a las otras. Son consistentes la una en relación con la otra. Se puede demostrar que, si la geometría euclídea es internamente consistente, entonces las geometrías no euclídeas alternativas lo son igualmente.

El reconocimiento de este hecho llevó a muchos pensadores a contrastar el carácter *a priori* de los axiomas y teoremas de la «geometría pura» con las afirmaciones empíricamente significativas de la «geometría física». Helmholtz, por ejemplo, destacó que los diversos sistemas de geometría están, en sí mismos, desprovistos de contenido empírico. Sólo cuando se les junta con ciertos principios de la mecánica se convierten en proposiciones empíricamente significativas. Según Helmholtz, es necesario especificar cómo deben medirse términos como «punto», «línea» y «ángulo» antes de que los teoremas geométricos puedan aplicarse a la experiencia [61].

Duhem y la vinculación de leyes

Pierre Duhem compartió el interés de Whewell por la historia de la ciencia y, como Whewell, pretendió formular una filosofía de

---

[61] Hermann von Helmholtz, «On the Origin and Significance of Geometrical Axioms», trad. por E. Arkinson, en *Helmholtz: Popular Scientific Lectures*, ed. por M. Kline (Nueva York, Dover Publications, 1962), 239-47.

la ciencia que fuese compatible con la información histórica. Whewell había trazado una imagen del progreso científico como una confluencia de afluentes para formar un río. Duhem estaba de acuerdo en que las teorías con éxito ligan, o vinculan, leyes experimentales. Dijo de las teorías que «representan» un grupo de leyes, y contrapuso esta función «representativa» con la función «explicativa» que se presume que tienen la mayoría de las teorías. A menudo se sostiene que las teorías explican fenómenos describiendo «la realidad subyacente a los fenómenos». Duhem criticó este punto de vista, insistiendo en que es sólo la función representativa la que tiene valor científico [62].

La posición de Duhem de que las teorías científicas «representan», pero no «explican», las leyes experimentales se basaba en su visión de la estructura de las teorías. Según Duhem, una teoría científica consta de un sistema axiomático y de «reglas de correspondencia» [63], que correlacionan ciertos términos del sistema axiomático con magnitudes experimentalmente determinadas. Puede haber, en suma, una imagen, o modelo, asociada con el sistema axiomático interpretado. Pero este modelo no forma parte de la estructura lógica de la teoría. El sistema axiomático y las reglas de correspondencia bastan para la deducción de las leyes experimentales que son «representadas» por la teoría. En consecuencia, el modelo asociado con la teoría no toma parte en la tarea de predecir los resultados de experimentos.

En el caso de la teoría cinética de los gases, por ejemplo, los axiomas establecen relaciones entre términos como «molécula», «velocidad» y «masa». El sistema axiomático se halla ligado a la experiencia por medio del concepto de velocidad cuadrática media de las moléculas [64]. Las reglas de correspondencia correlacionan esta velocidad cuadrática media con la presión y temperatura del gas. Duhem insistió en que la teoría cinética es valiosa porque vincula leyes experimentales relativas a la conducta macroscópica de los

[62] Pierre Duhem, *The Aim and Structure of Physical Theory*, trad. por P. Wiener (Nueva York: Atheneum, 1962), 32.

[63] El propio Duhem no utilizó la expresión «reglas de correspondencia» para referirse a los enunciados que ligan el sistema axiomático con las magnitudes experimentalmente determinadas.

[64] La velocidad cuadrática media u se define como sigue:

$$u = \sqrt{\left(\frac{v_1^2 + v_2^2 + v_3^2 + \ldots v_n^2}{n}\right)},$$

donde n es el número de moléculas.

gases que anteriormente no estaban relacionadas. Por ejemplo, las leyes atribuidas a Boyle, Charles y Graham son consecuencias deductivas de los supuestos de la teoría. Esta es la función «representativa» de la teoría. Negó, sin embargo, que el modelo —que pinta colisiones elásticas entre masas puntuales— tenga una función explicativa. Duhem criticó mucho la posición de lord Kelvin de que «comprender» un proceso es visualizar un mecanismo subyacente. De acuerdo con Duhem el modelo asociado a una teoría puede tener valor heurístico en la búsqueda de nuevas leyes experimentales, pero el modelo en sí mismo no es una premisa de las explicaciones que proporciona la teoría.

Duhem destacó que una teoría no «representa» a un grupo de leyes estableciendo meramente una conjunción de esas leyes. La relación es más compleja, y deja un amplio ámbito a la imaginación del teórico. Por supuesto, una teoría aceptable debe implicar leyes experimentalmente contrastables, pero las suposiciones fundamentales de la teoría pueden incluir enunciados acerca de magnitudes que en modo alguno están relacionados con procesos de medición[65]. En tales casos, los axiomas de la teoría se formulan por hipótesis y no por medio de la inferencia inductiva.

Duhem señaló que el procedimiento científico se halla todo él impregnado de consideraciones teóricas. Apoyó la afirmación de Whewell de que no hay hechos irreductibles desprovistos completamente de teoría. Duhem recalcó que el científico interpreta invariablemente los hallazgos experimentales con la ayuda de alguna teoría. Lo que interesa al científico no es simplemente que la aguja de un instrumento marque 3,5. Esta observación sólo es de valor en conjunción con una interpretación de su significado. Por ejemplo, se interpreta que la lectura de la aguja significa que la corriente de un circuito tiene un cierto valor, que la temperatura de una sustancia tiene un cierto valor, o algo parecido. Más aún, como señaló Duhem, el científico reconoce que los instrumentos que emplea tienen un error experimental finito. Por ejemplo, si lo que marca un manómetro es «3,5», y su límite de error experimental es ± 0,1 de atmósfera, entonces cualquier presión entre 3,4 y 3,6 atmósferas es compatible con la lectura. Duhem expresó esto sugiriendo que infinitos «hechos teóricos» son compatibles con un conjunto de condiciones experimentalmente dadas[66].

---

65 Ibid., 207.
66 Ibid., 135-36.

Sobre la base de tales consideraciones, Duhem criticó el ideal de procedimiento científico que expuso Newton en el *Scholium* general de los *Principia*. Newton había recomendado que la filosofía natural se circunscribiese a las proposiciones alcanzadas por generalizaciones inductivas a partir de enunciados sobre fenómenos. Aun cuando el propio Newton no se ajustó a este ideal inductivista en los *Principia*, el ideal se había mostrado tenaz en la historia de la ciencia. Duhem observó que

dos escollos inevitables hacen impracticable para el científico el rumbo meramente inductivo. En primer lugar, ninguna ley experimental puede prestar servicios al teórico antes de haber sufrido la interpretación que la transforme en una ley simbólica; y esta interpretación implica la adhesión a todo un conjunto de teorías. En segundo lugar, ninguna ley experimental es exacta, sino sólo aproximada, y es por tanto susceptible de una infinidad de traducciones simbólicas distintas; y entre todas estas traducciones, el físico ha de elegir una que le proporcione una hipótesis fructífera, sin que su elección esté dirigida en absoluto por el experimento[67].

Campbell, «hipótesis» y «diccionarios»

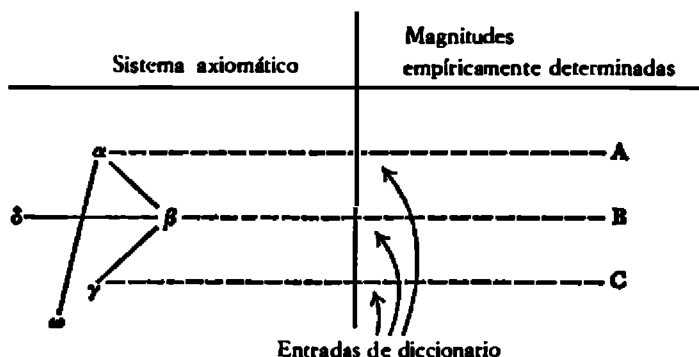
N. R. Campbell, en 1919, hizo de la distinción entre un sistema axiomático y su aplicación a la experiencia, la base de un cuidadoso análisis de la estructura de las teorías físicas. Según Campbell, una teoría física comprende enunciados de dos tipos diferentes. Llamó a un conjunto de enunciados la «hipótesis» de la teoría. En el uso de Campbell, una «hipótesis» es una colección de enunciados cuya verdad no puede determinarse empíricamente[68]. No tiene sentido preguntar acerca de la verdad empírica de una hipótesis en sí misma, debido a que no se les ha asignado significado empírico a sus términos. Campbell incluía dentro de la hipótesis de una teoría tanto los axiomas como los teoremas deducibles de ellos.

Campbell hizo referencia al segundo conjunto de enunciados pertenecientes a una teoría llamándolo «diccionario» para la hipótesis. Los enunciados del diccionario relacionan los términos de la hipótesis con enunciados cuya verdad empírica puede determinarse. La visión de Campbell de la estructura de una teoría científica puede presentarse como sigue:

---

67 Ibid., 199.

68 N. R. Campbell, *Foundations of Science* (Nueva York: Dover Publications, 1957), 122.



En este diagrama, α, β, γ, ... son los términos del sistema axiomático, y las líneas que unen los términos representan a los axiomas. En sí mismo, el sistema axiomático es un conjunto de relaciones abstractas entre términos no interpretados. La frontera entre el sistema axiomático y el reino de la experiencia sensible se salva mediante las entradas del diccionario que ligan determinados términos del sistema axiomático con propiedades medibles experimentalmente.

Coincidiendo con Duhem, Campbell señaló que en muchas teorías existen términos para los que no hay entradas en el diccionario. No es necesario ligar cada término hipotético con afirmaciones experimentalmente contrastables para que una teoría en su conjunto consiga significado empírico. En el diagrama anterior, δ y ω no se hallan mencionados en el diccionario. Sin embargo, el sistema axiomático completo, del que δ y ω son términos, se halla ligado a la experiencia a través de las entradas del diccionario que relacionan α y A, β y B y γ y C.

La teoría cinética de los gases constituye una buena ejemplificación de este punto. Los axiomas de la teoría establecen relaciones entre las masas y velocidades de las moléculas individuales. Pero no existe una entrada en el diccionario para las velocidades moleculares individuales. No obstante, las velocidades moleculares individuales se hallan relacionadas con la velocidad cuadrática media del conjunto de las moléculas, y la velocidad cuadrática media se halla relacionada, a través del diccionario, con la temperatura y la presión del gas.

Teorías matemáticas y teorías mecánicas

Campbell subdividió las teorías físicas en «teorías matemáticas» y «teorías mecánicas», y basó la subdivisión en una diferencia en

cuanto a estructura formal. Cada término importante de la hipótesis de una teoría matemática está directa y separadamente relacionado con magnitudes empíricamente determinadas. La geometría física ejemplifica este tipo de teoría. Términos como «punto», «recta» y «ángulo» están directamente ligados con procedimientos de medición. En el caso de una teoría mecánica, por otro lado, algunos de los términos de la hipótesis se correlacionan con magnitudes empíricamente determinadas sólo a través de funciones de estos términos [69]. Esto es lo que ocurre en el caso de las velocidades moleculares individuales en la teoría cinética. La teoría de los gases ejemplifica, por tanto, el tipo mecánico de teoría física.

Analogías

Campbell sostenía que la estructura formal de una teoría científica consta de una hipótesis y un diccionario. Pero también sostenía que no es suficiente que una teoría disponga meramente de la estructura formal requerida. Debe, además, ir asociada a una analogía. Una teoría aceptable exhibe una analogía con un sistema gobernado por leyes previamente establecidas. Y estas leyes previamente establecidas se consideran más familiares, o más adecuadas, que las leyes deducidas de la teoría. Campbell declaró que una teoría

siempre explica las leyes mostrando que si el sistema al que se aplican las leyes consta de alguna manera de otros sistemas a los que se aplican otras leyes conocidas, entonces las leyes pueden deducirse de la teoría [70].

En la teoría cinética de los gases, por ejemplo, se traza una analogía entre las moléculas de un gas y un enjambre de partículas. Se supone que las partículas obedecen las leyes de Newton y que chocan sin pérdida de energía. Esta analogía desempeñó un importante papel en el desarrollo histórico de las teorías sobre la conducta de los gases. Inicialmente, la analogía positiva entre partículas y moléculas se circunscribía a las propiedades del movimiento y del choque elástico. No se hacía referencia a otras propiedades que pudieran tener las partículas. Posteriormente, van der Waals amplió la teoría para explicar la conducta de los gases a altas presiones. Consiguió esto haciendo ciertos supuestos sobre el volumen de una partícula y las fuerzas existentes entre las partículas. Estas propiedades anteriormente formaban parte de la analogía neutral entre partículas y moléculas.

---

69 Ibid., 150.
70 Campbell, *What is Science?* (Nueva York: Dover Publications, 1952), 96.

Tanto Duhem como Campbell eran conscientes del papel heurístico de la analogía en este caso. Pero, para Duhem, afirmar una teoría es afirmar sólo una analogía positiva, mientras que para Campbell afirmar una teoría es afirmar una analogía positiva y además neutral. Por esta razón, Duhem describió la transición de la teoría cinética de los gases a la modificación efectuada por van der Waals como la *sustitución* de una teoría por otra, mientras que Campbell describió la transición como una *ampliación* de la teoría cinética.

Campbell enfatizó que la analogía asociada con una teoría no es meramente un mecanismo heurístico para facilitar la búsqueda de leyes adicionales. Por el contrario, la analogía es una parte esencial de la teoría, debido a que sólo en términos de la analogía puede decirse que una teoría explica un conjunto de leyes. Campbell ejemplificó este punto formulando la siguiente teoría *ad hoc*:

La hipótesis consta de las siguientes proposiciones matemáticas:

(1) $u, v, w...$ son variables independientes.
(2) a es una constante para todos los valores de esas variables.
(3) b es una constante para todos los valores de esas variables.
(4) $c=d$, donde c y d son variables dependientes.

El diccionario consta de las siguientes proposiciones:

(1) La afirmación de que $(c^2+d^2)a=R$, donde R es un número positivo y racional, implica la afirmación de que la resistencia (eléctrica) de alguna pieza definida de metal puro es R.
(2) La afirmación de que $\frac{cd}{b}=T$ implica que la temperatura (absoluta) de la misma pieza de metal puro es T[71].

De la hipótesis puede deducirse que

$$(c^2+d^2)a = 2ab\left(\frac{cd}{b}\right).$$

Según el diccionario, este teorema es equivalente a la ley experimental de que la resistencia eléctrica de la pieza de metal puro es directamente proporcional a su temperatura absoluta.

¿Qué hay de malo en tal teoría? Duhem diría que le falta economía de representación, y que no es probable que tenga valor heurístico. Campbell insistió, sin embargo, en que esta hipótesis-más-diccionario no es en absoluto una «teoría». La hipótesis y el diccionario se han formulado únicamente para implicar la ley experi-

[71] Campbell, *Foundations*, 123.

mental deseada. Pero, claramente, una ley particular, o incluso un conjunto de leyes, puede deducirse de un número indefinido de conjuntos de premisas. El éxito en la deducción de una ley a partir de una hipótesis-más-diccionario es una condición necesaria, pero no suficiente, para explicar la ley. Según Campbell, sólo cuando se traza una analogía con otras leyes conocidas, explica una teoría las leyes que se deducen de ella.

Campbell pensaba que esto era cierto tanto de las teorías matemáticas como de las teorías mecánicas. Pero mientras que la analogía para una teoría mecánica se establece de un modo explícito y evidente, no sucede lo mismo con las teorías matemáticas. Campbell explicó esto señalando que en una teoría matemática las leyes para las que se establece la analogía y las leyes deducidas de la teoría son las mismas. La analogía tiene forma matemática. La teoría de la que se deducen las leyes experimentales tienen la misma forma matemática que las propias leyes.

Campbell citó la teoría de Fourier de la conducción del calor como un ejemplo de teoría matemática. Esta teoría consta de una ecuación matemática y de un diccionario. La ecuación es

$$\lambda\left(\frac{\partial^2\theta}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\theta}{\partial y^2}+\frac{\partial^2\theta}{\partial z^2}\right)=\rho c\frac{\partial\theta}{\partial t}$$

El diccionario estipula que θ es la temperatura absoluta, λ la conductividad térmica, ρ la densidad, c el calor específico, t el tiempo y x, y, z las coordenadas espaciales de un punto en una plancha infinitamente larga de material. Numerosas leyes experimentales acerca de la conducción de calor a través de planchas finitas de diversos materiales pueden deducirse de esta teoría. Las leyes experimentales establecen relaciones entre las mismas variables y constantes que se mencionan en la teoría, y las leyes comparten con la teoría una forma matemática común. Según Campbell, es en virtud de esta analogía entre la teoría de Fourier y las leyes experimentales de la conducción del calor por lo que puede decirse que la teoría explica las leyes.

Campbell mantenía que el propósito de la ciencia es el descubrimiento y explicación de leyes, y que las leyes sólo pueden explicarse mediante su incorporación a teorías. Su incisivo análisis de la estructura de las teorías científicas fue un nuevo golpe contra los puntos de vista inductivistas del procedimiento científico.

Las teorías mecánicas, en particular, surgen sólo mediante la aplicación con éxito de una analogía. Y no pueden especificarse, por adelantado, reglas para separar las analogías apropiadas de las inapro-

piadas. La imaginación del teórico sólo se ve restringida por los requisitos de consistencia interna y de deducibilidad de las leyes experimentales. Una vez formulada, la prueba del éxito de una teoría mecánica es su fertilidad para sugerir nuevas correlaciones.

Las teorías matemáticas sólo surgen, igualmente, mediante la aplicación con éxito de analogías. En este proceso, son importantes las consideraciones sobre la simplicidad matemática. Pero Campbell insistió en que la formulación de una teoría matemática no es simplemente una extrapolación de leyes experimentales. El teórico debe elegir entre relaciones matemáticas alternativas que a un mismo tiempo impliquen las leyes y exhiban algún parecido, en cuanto a forma matemática, con las leyes. No hay nada en las mismas leyes experimentales que le fuerce a elegir una alternativa determinada [72].

Crítica de Hempel a la posición de Campbell sobre las analogías

La afirmación de Campbell de que sólo en virtud de una analogía puede decirse que una teoría científica explica las leyes que se deducen de ella ha sido recusada por Carl Hempel. Hempel arguyó que la teoría *ad hoc* de Campbell sobre la resistencia eléctrica de los metales no prueba que sea necesario para la explicación científica el apelar a una analogía.

Hempel sugirió una teoría *ad hoc* diferente a partir de la cual puede deducirse la ley de resistencia. La hipótesis consta de las dos relaciones siguientes:

$$(1)\ c(u) = \frac{k_1 a(u)}{b(u)}, \text{ y } \quad (2)\ d(u) = \frac{k_2 b(u)}{a(u)},$$

donde k_1 y k_2 son constantes. El diccionario especifica que, para cualquier pieza de metal puro u, $c(u)$ es su resistencia eléctrica y $d(u)$ es el recíproco de su temperatura absoluta [73].

De la hipótesis anterior puede deducirse que

$$c(u) = k_1 k_2 \frac{1}{d(u)}.$$

[72] Ibid., 153.

[73] Carl Hempel, *Aspects of Scientific Explanation and Other Essays in the Philosophy of Science* (Nueva York: Free Press, 1965), 444 [ed. cast., *La explicación científica;* Buenos Aires, Paidós, 1979 (trad. por M. Frasinetti de Gallo, N. Míguez, I. Ruiz Aused y C. S. Seibert de Yugnowski)].

En términos del diccionario, esta relación estipula que la resistencia eléctrica de una pieza de metal puro es directamente proporcional a su temperatura absoluta.

Hempel señaló que su teoría, a diferencia de la de Campbell, exhibe una analogía con una ley previamente establecida. Cada una de las relaciones establecidas en la hipótesis es un análogo formal de la ley de Ohm [74]. Pero la existencia de esta analogía no añade poder explicativo a la teoría. Como Duhem había señalado, el poder explicativo de una teoría deriva de los argumentos en los que se deducen las leyes experimentales, y las analogías no intervienen en estos argumentos. Hempel destacó que tanto su propia teoría como la teoría alternativa de Campbell son deficientes en cuanto a poder predictivo, debido a que sólo es una la ley experimental que puede deducirse de cada teoría. Tampoco las teorías logran una integración conceptual mostrando cómo un determinado conjunto de supuestos teóricos implica varias leyes experimentales diferentes. Según Hempel, es esta integración conceptual, a la que Duhem ha llamado «función representativa», la que constituye el poder explicativo de una teoría científica.

Hempel admitía que las analogías suelen ser valiosas para guiar investigaciones posteriores. No discutió el hecho de que las analogías han influido en el desarrollo histórico de las ciencias. Pero mantenía, junto con Duhem, que, puesto que las analogías no aparecen como premisas en la deducción de las leyes experimentales, no forman parte de las teorías científicas.

Lo más que llega a establecer el contraejemplo de Hempel es que no todas las apelaciones a una semejanza formal proporcionan una explicación de un conjunto de leyes. Esto deja intacta la afirmación de Campbell de que la explicación de leyes por medio de una teoría se consigue sólo mediante la formulación de una analogía con *algún* sistema gobernado por leyes previamente establecidas. Campbell presumiblemente estaría de acuerdo en que la referencia a la ley de Ohm no constituye una analogía adecuada, y que la hipótesis-más-diccionario de Hempel no posee poder explicativo. Pero Campbell suscribe sólo la posición de que, si una teoría tiene poder explicativo, entonces exhibe una analogía con un sistema gobernado por leyes previamente establecidas. Una «teoría» que muestra una analogía, pero que no tiene poder explicativo, no es un contraejemplo de esta afirmación.

---

[74] $i = \dfrac{V}{R}$, donde i es la corriente, V la diferencia de potencial y R la resistencia de un circuito eléctrico.

Hesse y el uso científico de las analogías

Mary Hesse ha sugerido que utilizar una analogía en la ciencia supone con frecuencia afirmar que se mantienen dos tipos de relaciones entre el análogo y el sistema que ha de explicarse. El primero son las relaciones de semejanza entre las propiedades del análogo y las propiedades del sistema que ha de explicarse. El segundo son las relaciones causales, o funcionales, que se mantienen tanto para el análogo como para el sistema que debe ser explicado. Por ejemplo, puede representarse del modo siguiente una analogía entre las propiedades del sonido y las de la luz:

Relaciones causales	Propiedades del sonido	Propiedades de la luz
Leyes de la reflexión, refracción, *et al.*	ecos, sonoridad, altura, se propaga en el aire	reflexión, brillo, color, se propaga en el «éter» ......

relaciones de semejanza

Esta analogía puede usarse para hacer dos afirmaciones. La primera afirmación es que las propiedades que se corresponden entre columna y columna son semejantes. La segunda afirmación es que existen relaciones causales del mismo tipo que ligan los términos de cada columna. Estas incluirían las leyes de la reflexión, refracción, la variación de la intensidad con la distancia, y otras parecidas. Hesse señaló que cabe oponerse a cada una de estas afirmaciones. Se puede argüir que las relaciones de semejanza son superficiales; y se puede argüir que es inapropiado aplicar las relaciones causales conocidas de la propagación del sonido a la propagación de la luz [75].

La analogía utilizada en el contraejemplo de Hempel difiere en un aspecto importante de la analogía entre el sonido y la luz. En la analogía sonido-luz, se presume que las relaciones horizontales de semejanza se mantienen con independencia de la existencia de relaciones causales verticales. Esto no sucede en la analogía de Hempel. La única relación que se afirma que se mantiene entre los términos del análogo y los términos del sistema por explicar es la participación en relaciones funcionales de la misma forma. La relación hori-

[75] Mary Hesse, *Models and Analogies in Science* (Notre Dame: University of Notre Dame Press, 1966), 80-1.

zontal se establece sólo en virtud de una identidad de forma en las relaciones verticales respectivas, esto es:

Relaciones funcionales	*Propiedades de los circuitos eléctricos*		*Propiedades de un trozo de metal puro*			
			Axioma (1)		Axioma (2)	
$① \propto \frac{②}{③}$	①	*i*	①	*c*(*u*)	①	*d*(*u*)
	②	*V*	②	*a*(*u*)	②	*b*(*u*)
	③	*R*	③	*b*(*u*)	③	*a*(*u*)

Hesse llamó a las analogías de este tipo «analogías formales» para distinguirlas de las «analogías materiales» que guardan relaciones horizontales de semejanza que son independientes de las relaciones verticales [76].

Hesse mantenía que la aceptabilidad de las analogías formales depende totalmente de lo apropiado de las relaciones formales citadas. En el contraejemplo de Hempel, parece no haber razón (aparte de establecer una relación deductiva que dé como resultado la ley conocida) para seleccionar como análogo la ley de Ohm. Para el propósito de deducir la ley conocida, la ley de los gases perfectos [77] sería igualmente un buen análogo. No se nos ha ofrecido ninguna razón para creer que existe conexión alguna entre los axiomas de Hempel y el flujo de corriente en un circuito eléctrico. Lo que se hace necesario en este punto es un criterio para determinar lo apropiado de los lazos analógicos.

Harré y la importancia de los mecanismos subyacentes

En oposición al punto de vista de Duhem y Hempel sobre las teorías, R. Harré ha recomendado una «revolución copernicana» en la que el énfasis se traslade de la estructura formal deductiva de las teorías a los modelos asociados. Ha declarado que

> la revolución copernicana consiste, en la filosofía de la ciencia, en colocar los modelos en la posición central como instrumentos del pensamiento, relegar las estructuras deductivamente organizadas de proposiciones a un papel solamente heurístico y resucitar la noción de generación de un acontecimiento o estado

76 Ibid., 68-9.

77 $P = k\frac{T}{V}$, que también tiene la forma $① \propto \frac{②}{③}$.

de cosas por otro. Desde este punto de vista, la construcción de teorías se convierte esencialmente en la edificación de ideas de mecanismos hipotéticos [78].

Harré mantenía que este énfasis es más coherente con las «intuiciones persistentes de los científicos» [79] que la posición de Duhem.

Harré distinguió tres partes componentes en las teorías científicas: enunciados sobre un modelo, leyes empíricas y reglas de transformación. Los enunciados sobre un modelo incluyen típicamente tanto las hipótesis que afirman la existencia de entidades teóricas como las hipótesis acerca de la conducta de tales entidades. Las reglas de transformación pueden comprender hipótesis causales y transformaciones modales. Las hipótesis causales pueden expresarse en enunciados condicionales de la forma «si *M*, entonces *E*», donde «*M*» es un estado del modelo, y «*E*» es un tipo de efecto observado. Las transformaciones modales pueden expresarse en enunciados bicondicionales de la forma «*M* si, y sólo si, *E*».

Según este análisis, la estructura de la teoría cinética de los gases quedaría representada, en parte, como sigue:

MODELO	REGLAS DE TRANSFORMACION	LEYES EMPIRICAS
Hipótesis existenciales «Hay moléculas» Hipótesis descriptivas «las colisiones son elásticas» «$\Delta m_i v_i$ =constante.	Causal «La presión está causada por choques moleculares» («Si *I*, entonces *P*»). Modal «La temperatura es la energía ci ética media de las moléculas» («*T* si, y sólo si, *K.E.*)».	$\frac{PV}{T}$ = constante ....

Con respecto al modelo anidado en las teorías, Harré enfatizó las hipótesis existenciales sugeridas por el modelo, más que la estructura deductiva que puede desarrollarse a partir de las hipótesis descriptivas. Insistió en que la formulación de hipótesis existenciales es una operación «ampliadora de la ciencia», y apoyó esta opinión en análisis del desarrollo histórico de la ciencia. Es incontestable que los intentos de justificar afirmaciones sobre la existencia de entidades

78 R. Harré, *The Principles of Scientific Thinking* (Londres: MacMillan, 1970), 116.

79 Ibid., 116.

teóricas como capilares, ondas de radio y neutrinos han contribuido al progreso científico.

Harré indicó el espectro de posibles resultados de los intentos de confirmar las hipótesis existenciales. Una posibilidad es que se satisfagan tanto los criterios demostrativos como los de reconocimiento para el tipo de entidad buscado. Un ejemplo de esto lo constituyen las predicciones de Mendeleiev sobre la existencia de elementos aún no descubiertos. Los criterios de reconocimiento que especificó —propiedades físicas, tipos de compuestos formados, etc.— se vieron posteriormente satisfechos por el escandio, el galio y el germanio. Lo mismo puede decirse de las hipótesis acerca de la existencia de positrones, virus y neutrinos.

En otros casos, pueden abandonarse las hipótesis existenciales debido a que no se han satisfecho los criterios demostrativos. Este fue el destino de las hipótesis sobre la existencia de un planeta cuya órbita se encontraría en el interior de la de Mercurio, y también la hipótesis de que existe un éter en el que se propaga la luz.

Y todavía en otros casos, pueden abandonarse las hipótesis existenciales por no haberse satisfecho los criterios de reconocimiento. En tales casos, la región de demostración se encuentra ocupada por algo que no satisface los criterios de reconocimiento originales. Por ejemplo, las investigaciones microscópicas del corazón humano revelaron que es un músculo continuo, y se abandonó la hipótesis de Galeno de que existen poros en el septo por los que pasa la sangre.

En algunos casos, la falta de cumplimiento de los criterios ha tenido como resultado la recategorización de la entidad teórica en cuestión. Esto sucedió en el caso del «calórico». Muchos científicos del siglo XVIII explicaban los fenómenos térmicos en términos de la transferencia de un fluido invisible. Pero en el siglo XIX, diversos estudios indicaron que el calórico no satisface ciertos criterios de reconocimiento que debían cumplir las entidades sustantivas. Por ejemplo, esta «sustancia» desaparecería en gran parte en ciertos procesos en los que se realizaba trabajo mecánico. La respuesta de los científicos fue reinterpretar el calórico como una cualidad de una sustancia —la energía cinética media de sus partículas constituyentes— y no como una sustancia en sí misma.

Según Harré, un criterio sobre lo apropiado de los lazos analógicos incorporados a una teoría es la generación de hipótesis existenciales a partir de la teoría. Si una teoría no propone hipótesis existenciales, entonces no hace avanzar nuestra comprensión de los mecanismos subyacentes a los procesos naturales. Harré declaró que

la explicación científica consiste en hallar o imaginar mecanismos generativos plausibles para los armazones en que se inscriben los acontecimientos, para las estructuras de las cosas, para la generación, crecimiento, degeneración o extinción de cosas y materiales, para los cambios en el interior de cosas y materiales persistentes [80].

Desde este punto de vista, las teorías que formularon Campbell y Hempel para deducir las variaciones en la resistencia eléctrica con relación a la temperatura, son completamente inadecuadas.

[80] Ibid., 125.

Capítulo 10

EL INDUCTIVISMO FRENTE A LA VISION HIPOTETICO-DEDUCTIVA DE LA CIENCIA

JOHN STUART MILL (1806-1873) recibió una intensa educación de su padre James Mill, reputado economista, historiador y filósofo. La educación abarcó desde el griego, que comenzó a los tres años, hasta la psicología y la teoría económica. Mill estuvo asociado a la East India Company (1823-1858), y fue elegido para el Parlamento en 1865, donde defendió el sufragio femenino y la reforma de la posesión de tierras en Irlanda. Publicó numerosos libros y ensayos en apoyo de la filosofía del utilitarismo.

El mayor de los Mill inculcó a su hijo la importancia de reunir y sopesar elementos de juicio, y John Stuart pretendió formular técnicas inductivas para determinar la conexión entre conclusiones y elementos de juicio. Descubrió que en la metodología de las ciencias se hallan implícitas reglas para probar la conexión causal. Mill expuso su filosofía de la ciencia en *System of Logic* (El sistema de la lógica) (1843), en el que reconocía su deuda para con Herschel y Whewell

WILLIAM STANLEY JEVONS (1832-1882) fue nombrado profesor de lógica y economía política en la Universidad de Manchester en 1866, enseñando posteriormente en el Universitary College de Londres. Hizo contribuciones a la lógica y a la teoría de la probabilidad, y fue pionero en la aplicación de métodos estadísticos a la metereología y a la economía. Jevons se opuso al inductivismo de Mill en nombre de una concepción hipotético-deductiva de la ciencia en la línea de Whewell.

El inductivismo de Mill

El inductivismo es un punto de vista que destaca la importancia que para la ciencia tienen los argumentos inductivos. En su forma

más inclusiva, es una tesis que abarca tanto el contexto de descubrimiento como el de justificación. Con respecto al contexto de descubrimiento, la posición inductivista dice que la investigación científica es una cuestión de generalización inductiva a partir de los resultados de observaciones y experimentos. Con respecto al contexto de justificación, la posición inductivista dice que una ley o teoría científica queda justificada solamente si los elementos de juicio en favor suyo se ajustan a un esquema inductivo.

La filosofía de la ciencia de John Stuart Mill es un ejemplo del punto de vista inductivista. Mill formuló varias afirmaciones extremas acerca del papel de los argumentos inductivos, tanto en el descubrimiento de leyes científicas como en la subsiguiente justificación de estas leyes.

Contexto de descubrimiento

Métodos inductivos de Mill. Mill fue un eficaz propagandista a favor de ciertos métodos inductivos que habían sido discutidos por Duns Escoto, Occam, Hume y Herschel, entre otros. De tal manera esto fue así que estos métodos llegaron a ser conocidos como «métodos de Mill» de la investigación experimental. Mill destacó la importancia de estos métodos en el descubrimiento de leyes científicas. Además, en el curso de un debate con Whewell, Mill llegó a proclamar que todas las leyes causales científicas conocidas han sido descubiertas «mediante procesos reducibles a uno u otro de esos métodos» [1].

Mill se ocupó de cuatro métodos inductivos [2]. Pueden representarse como sigue:

ACUERDO

Caso	Circunstancias antecedentes	Fenómenos
1	*ABEF*	*abe*
2	*ACD*	*acd*
3	*ABCE*	*afg*

Por consiguiente, es probable que *A* sea la causa de *a*.

[1] J. S. Mill, *System of Logic* (Londres: Longmans, Green, 1865), vol. I, 480 [ed. cast., *Sistema de lógica inductiva y deductiva;* Madrid, Ed. Daniel Jorro, 1917 (trad. E. Ovejero y Maury)].

[2] Mill discutió también un quinto método, un método conjunto del acuerdo y la diferencia, en que estos dos métodos se combinaban en un esquema único.

DIFERENCIA

Caso	Circunstancias antecedentes	Fenómenos
1	ABC	a
2	BC	—

Por consiguiente, A es parte indispensable de la causa de a.

VARIACIONES CONCOMITANTES

Caso	Circunstancias antecedentes	Fenómenos
1	$A^{+}BC$	$a^{+}b$
2	$A^{0}BC$	$a^{0}b$
3	$A^{-}BC$	$a^{-}b$

Por consiguiente, A y a están causalmente relacionadas.

RESIDUOS

Circunstancias antecedentes		Fenómenos
ABC		abc
B	es la causa de	b
C	es la causa de	c

Por consiguiente, A es la causa de a.

Mill mantenía que el método de la diferencia es el más importante de los cuatro métodos. En su breve presentación de este esquema, observó que la circunstancia A y el fenómeno a se hallan causalmente relacionados sólo si los dos casos difieren en una, y sólo una, circunstancia [3]. Pero si se impusiese esta restricción, no podría descubrirse ninguna relación causal mediante la aplicación del método de la diferencia.

La descripción de dos casos lleva consigo la referencia a lugares diferentes o a tiempos diferentes, o a ambos. Pero dado que no existe ninguna razón *a priori* para excluir de la lista de circunstancias la posición en el espacio y el tiempo, no es posible que dos casos que difieren con respecto a la ocurrencia de un fenómeno, difieran también en una sola circunstancia.

[3] Ibid., I, 431.

Otra dificultad es que, en la sumaria presentación que hace Mill del método, todas las circunstancias están a la par. Para explicar, por ejemplo, por qué la nitroglicerina explotó en una ocasión y no en otra, se tendrían que especificar, no sólo los modos en que se ha manipulado la sustancia, sino también el número de nubes en el cielo y el tamaño de las manchas solares. Si todas las circunstancias estuviesen a la par, sólo se podría especificar adecuadamente un caso describiendo el estado del universo entero en un determinado instante.

Mill se daba cuenta de esto. Admitía que la utilidad de la diferencia como método de descubrimiento depende del supuesto de que, para una investigación determinada, deban especificarse sólo un pequeño número de circunstancias. Sin embargo, mantuvo que este supuesto se ve a su vez justificado por la experiencia. Mill afirmó que, en un gran número de casos, el esquema del método de la diferencia queda satisfecho, aunque se restrinja la investigación a un pequeño número de circunstancias.

Puede que esto sea así. Pero entonces el descubrimiento de relaciones causales lleva consigo algo más que la mera especificación de valores que se ajustan al esquema. Con el fin de usar este método en la investigación científica, debe hacerse una hipótesis acerca de qué circunstancias *pueden ser* relevantes para la aparición de un fenómeno dado. Y esta hipótesis sobre las circunstancias debe formularse antes de la aplicación del esquema. Por tanto, la afirmación de Mill de que el método de la diferencia es suficiente para descubrir relaciones causales debe ser rechazada. Por otro lado, una vez que se ha establecido el supuesto de que una circunstancia se halla relacionada con un fenómeno, el método de la diferencia especifica una valiosa técnica para contrastar el supuesto mediante experimentos controlados.

Mill consideraba que el método de la diferencia es el instrumento más importante para el descubrimiento de relaciones causales. Sus proclamas en favor del método del acuerdo fueron más modestas. Mantenía que el método del acuerdo es un instrumento útil para el descubrimiento de leyes científicas. Pero reconocía que este método se halla sujeto a importantes limitaciones.

Una limitación es que el método es eficaz en la búsqueda de relaciones causales solamente en el caso de que se haya efectuado un inventario exacto de las circunstancias relevantes. Si se deja de ver una circunstancia relevante que se halle presente en todos los casos, la aplicación del método del acuerdo puede confundir al investigador. Por tanto, el éxito en las aplicaciones del método del acuerdo —al igual que el de las aplicaciones del método de la diferencia— es

sólo posible sobre la base de hipótesis previas acerca de las circunstancias relevantes.

Una limitación adicional del método del acuerdo surge de la posibilidad de que funcionen una pluralidad de causas. Mill reconoció que un tipo determinado de fenómenos puede ser el efecto de diferentes circunstancias en diferentes ocasiones. En el esquema mostrado anteriormente, por ejemplo, es posible que *B* causara *a* en los casos 1 y 3, y que *D* causase *a* en el caso 2. Debido a que esta posibilidad existe, sólo se puede concluir que es *probable* que *A* sea la causa de *a*. Mill señaló que es una función de la teoría de la probabilidad el estimar la probabilidad de que se halle presente una pluralidad de causas, e indicó que, para una correlación dada, esta probabilidad puede disminuir por la inclusión de casos adicionales en los que varíen aún más las circunstancias, manteniéndose, sin embargo, la correlación.

Mill pensaba que la posibilidad de una pluralidad de causas no puede arrojar dudas sobre la verdad de las conclusiones alcanzadas por el método de la diferencia. Declaró que, para cualquier argumento particular mediante el método de la diferencia,

> es cierto que al menos en este caso *A* era, o la causa de *a*, o una parte indispensable de su causa, aunque la causa que lo produce pueda en otros casos, ser en un todo diferente[4].

Pero ¿qué es lo que se quiere decir al hablar de «una causa en este caso»? Mill había definido previamente una causa como una circunstancia, o conjunto de circunstancias, seguidas, a la vez invariable e incondicionalmente, por un efecto de un tipo dado. Parece que la posición de Mill en el párrafo citado anteriormente es que una sola aplicación del método de la diferencia puede establecer que cada aparición de una circunstancia debe ir seguida de su correspondiente fenómeno. Presumiblemente, así es como son las cosas, a pesar de de la posibilidad reconocida de que algún otro conjunto de circunstancias pueda ir seguido por el fenómeno en cuestión. Esta conclusión acerca de lo que Mill quería decir puede apoyarse citando la afirmación de Mill de que una

> pluralidad de causas... no sólo no hace disminuir la confianza que se le debe al método de la diferencia, sino que ni siquiera hace necesario un mayor número de observaciones o experimentos: dos casos, uno positivo y el otro negativo, son suficientes para la inducción más completa y rigurosa[5].

---

[4] Ibid., I, 486.
[5] Ibid., I. 485.

W. S. Jevons señaló posteriormente que Mill había dado un salto injustificado desde un enunciado sobre lo que sucede en un único experimento hasta la generalización de que lo que tiene lugar en un experimento también tendrá lugar en otros experimentos [6].

La causalidad múltiple y el método hipotético-deductivo. Es una práctica corriente en los estudios históricos sobre filosofía de la ciencia comparar los puntos de vista de Mill y Whewell. A menudo se presenta a Mill identificando el descubrimiento científico con la aplicación de un esquema inductivo, mientras que a Whewell se le presenta considerando al descubrimiento científico como una libre invención de hipótesis.

No cabe duda de que Mill no fue muy cuidadoso en algunas de sus afirmaciones en favor de sus métodos inductivos. Ciertamente, estos métodos no son los únicos instrumentos de descubrimiento en la ciencia. Pero a pesar de los comentarios que, sobre este tema, dirigió Mill en contra de Whewell, aquél reconoció claramente el valor de la formación de hipótesis en la ciencia. Ha sido una pena que los escritores posteriores hayan dado demasiada importancia a las poco cautelosas afirmaciones que Mill formuló en su debate con Whewell.

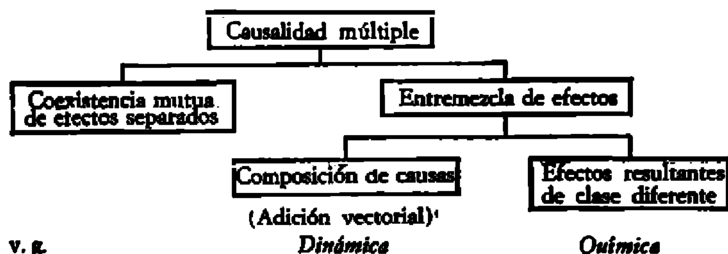
En el tratamiento de la causalidad múltiple, por ejemplo, Mill restringió mucho el ámbito de aplicabilidad de sus métodos inductivos. Los casos de causalidad múltiple son casos en los que hay involucrada más de una causa en la producción de un efecto. Mill subdividió los casos de causalidad múltiple en dos clases: casos en los que las diversas causas continúan produciendo sus propios efectos separados, y casos en los que hay un efecto resultante distinto de los efectos que se producirían separadamente. Mill subdividió a su vez esta última clase en casos en los que el efecto resultante es la «suma vectorial» de las causas presentes, y casos en los que el efecto resultante es de distinto tipo que los varios efectos de las causas separadas. Véase la figura.

Mill sostenía que la «coexistencia de efectos separados» puede analizarse con éxito mediante los cuatro métodos inductivos. Además, sostenía que sucede lo mismo con los «efectos resultantes de tipo diferente». Señaló que en este último tipo de situación el investigador puede relacionar el efecto con la presencia o ausencia de circunstancias, y aplicar después los métodos del acuerdo y de la diferencia.

---

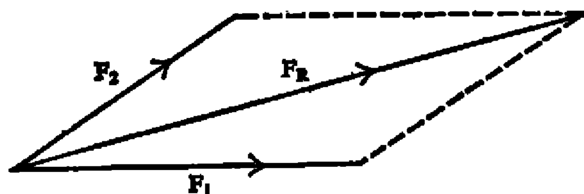
6 W. S. Jevons, *Pure Logic and Other Minor Works* (Londres; MacMillan, 1890), 295.

Mill pensaba que la situación era muy diferente en el caso de la «composición de causas». Este tipo de causalidad múltiple no es susceptible de ser investigado mediante los cuatro métodos inducti-



Punto de vista de Mill sobre la causalidad múltiple

vos. Mill citó el caso del movimiento causado por la acción de dos fuerzas El resultado es un movimiento a lo largo de la diagonal de un paralelogramo, cuyos lados tienen longitudes proporcionales a las magnitudes de las fuerzas.



El paralelogramo de fuerzas

Aquí no existe el problema de causas conjuntas que dan lugar a un efecto de tipo diferente a los efectos separados de las causas respectivas. Cada causa componente por separado se ve satisfecha, pero satisfecha de tal modo que se produce un refuerzo o una anulación de efectos. Esto es cierto incluso en el equilibrio dinámico, donde el efecto neto de las fuerzas actuantes es el reposo.

Una consideración importante sobre la composición de fuerzas es que a partir de la información acerca del movimiento resultante no puede determinarse la contribución de las diversas fuerzas actuantes.

Existe un número infinito de conjuntos de fuerzas que podrían producir un movimiento resultante dado.

Mill concluyó que sus métodos inductivos eran inutilizables en los casos de composición de causas: no se puede proceder inductivamente, a partir del conocimiento de que ha tenido lugar un efecto resultante, al conocimiento de sus causas componentes. Por esta razón, recomendó que se emplease un «método deductivo» en la investigación de la causalidad compuesta.

Mill pergeñó un método deductivo en tres etapas: 1) la formulación de un conjunto de leyes; 2) la deducción de un enunciado sobre el efecto resultante a partir de una determinada combinación de estas leyes; y 3) la verificación. Mill prefería que cada ley fuese inducida a partir del estudio de una causa relevante que actúe separadamente, pero admitía el uso de hipótesis no inducidas a partir de los fenómenos. Las hipótesis son suposiciones acerca de las causas que el científico puede utilizar en los casos en que no es práctico inducir las leyes por separado.

Mill coincidía con Whewell en que el uso de hipótesis queda justificado si sus consecuencias deductivas están de acuerdo con las observaciones. Sin embargo, Mill estableció requisitos muy estrictos para la verificación completa de hipótesis. Exigió de una hipótesis verificada que no sólo coincidiesen sus consecuencias deductivas con las observaciones, sino también que ninguna otra hipótesis implicase los hechos por explicar. Mill mantenía que la verificación completa de una hipótesis requiere la exclusión de todas las hipótesis alternativas posibles.

Mill sostenía que la verificación completa se había logrado algunas veces en la ciencia, pero no citó nada más que un ejemplo —la hipótesis newtoniana de una fuerza central inversa al cuadrado de las distancias del Sol a los planetas. Mill proclamó que Newton había mostrado, no sólo que las consecuencias deductivas de esta hipótesis estaban de acuerdo con los movimientos observados de los planetas, sino también que ninguna otra fuerza puede explicar estos movimientos [7]. Pero ni Mill ni Newton propusieron una prueba de que las alternativas examinadas agotasen los posibles modos de dar cuenta de los movimientos de los planetas.

Mill pensaba que éste era un caso de causalidad múltiple en el que se había conseguido una verificación completa. Sin embargo, era consciente de la dificultad existente para eliminar las hipótesis alternativas, y, en otros casos, era más cauto al fijar el carácter de las hipótesis y teorías. Mantenía, por ejemplo, que aunque la teoría

---

[7] Mill, *System of Logic*, II, 11-3.

ondulatoria de Young y Fresnel había tenido muchas consecuencias deductivas confirmadas, tal confirmación no llegaba a una verificación. Mill sugirió que, en algún tiempo futuro, podrá formularse una teoría que explicase no sólo los fenómenos explicados en su día por la teoría ondulatoria, sino también aquellos fenómenos de absorción y emisión que la teoría no explica [8]. En forma coherente con los estrictos requisitos de su concepto de verificación, Mill mantenía una aptitud admirablemente abierta hacia las teorías de su tiempo.

Mill atribuía al método deductivo un importante papel en el descubrimiento científico. Declaró que a él

> le debe la mente humana sus triunfos más destacados en la investigación de la naturaleza. A él le debemos todas las teorías en las que muchos y complicados fenómenos se someten a unas pocas leyes sencillas, las cuales, consideradas como las leyes de tales fenómenos, no podrían haberse detectado nunca mediante un estudio directo [9].

En este punto Mill y Whewell estaban de acuerdo. Los dos estaban convencidos de que la gran síntesis newtoniana fue fruto del método hipotético-deductivo. Al ser esto así, se debe concluir que Mill no defendió una posición exclusivamente inductivista acerca del contexto del descubrimiento científico.

Contexto de justificación

Aunque Mill no redujo la investigación científica a la aplicación de esquemas inductivos, insistió en que la *justificación* de las leyes científicas es un problema de satisfacción de esquemas inductivos. Sostenía que la función de la lógica inductiva es proporcionar reglas para la valoración de proposiciones sobre el nexo causal. Según Mill, un enunciado acerca de un nexo causal puede justificarse mostrando que los elementos de juicio en favor suyo se ajustan a esquemas inductivos específicos.

Relaciones causales y relaciones accidentales. Mill mantenía que un importante objetivo de la ciencia es la prueba de nexos causales. Basó su discusión de este objetivo en un análisis de la posición de Hume de que las relaciones causales no son sino conjunciones secuenciales constantes de dos tipos de acontecimientos. Mill se daba cuenta de que si Hume tuviese razón al equiparar las relaciones causales y las conjunciones constantes, entonces todas las secuencias invariables estarían a la par. Pero según Mill, algunas secuencias inva-

---

[8] Ibid., II, 22.
[9] Ibid., I, 518.

riables son causales y otras no. Por ejemplo, el añadir una porción de sodio a un vaso de agua es la causa de que se produzcan burbujas en el agua. Pero el día no es la causa de la noche, a pesar del hecho de que toda nuestra experiencia nos ha dicho hasta el presente que esta secuencia es invariable. Mill distinguía, por tanto, entre secuencias causales y secuencias accidentales. Insistía en que una relación causal es una secuencia de acontecimientos que es *a un tiempo invariable e incondicionada*, admitiendo por tanto la posibilidad de que algunas secuencias invariables no sean causales.

Mill reconocía que la relación entre secuencias causales y no causales sólo tiene valor si puede encontrarse algún modo de establecer que algunas secuencias son incondicionadas. Sugirió que una secuencia incondicionada es una secuencia que no sólo ha sido invariable en nuestra experiencia pasada, sino que también continuará siéndolo «siempre que permanezca constante la actual constitución de las cosas» [10]. Explicó que lo que entendía por «la actual constitución de las cosas» son aquellas «leyes últimas de la naturaleza (cualesquiera que puedan ser) en cuanto distintas de las leyes derivadas y de las co-ubicaciones» [11].

Mill sugirió que puede decidirse cuál es el carácter de una secuencia invariable considerando qué sucedería si se alterasen las condiciones en las que la secuencia tiene generalmente lugar. Si estas condiciones pueden alterarse de modo compatible con las «leyes últimas», y si entonces el efecto no se produce, entonces se trata de una secuencia condicionada. En el caso del día y la noche, por ejemplo, Mill señaló que las condiciones relevantes de esta secuencia incluyen la rotación diurna de la Tierra, la radiación del Sol y el que no intervengan otros cuerpos opacos. Mantenía que, puesto que si dejase de cumplirse una de estas condiciones, las leyes últimas de la naturaleza no serían violadas, la secuencia día-noche es una secuencia condicionada.

La utilidad general de este enfoque se ve gravemente limitada al no especificar Mill cuáles son las «leyes últimas de la naturaleza». Mill no llevó más adelante este enfoque. Siguió convencido, sin embargo, de que las secuencias causales difieren de las accidentales, y de que esta diferencia puede mostrarse en el ámbito de la experiencia. Lo que se necesita, pensaba Mill, es una teoría de la prueba que estipule la forma de los argumentos inductivos válidos. Tal teoría capacitaría al filósofo de la ciencia para determinar qué generalizaciones de la experiencia establecen relaciones causales.

---

[10] Ibid., I, 378.
[11] Ibid., I, 378 n.

En alguna ocasión, Mill propuso sus cuatro esquemas inductivos como reglas para la prueba de la conexión causal. En sus momentos más prudentes, sin embargo, restringió la prueba de la conexión causal a aquellos argumentos que satisfacen el método de la diferencia.

Justificación de la inducción. Para establecer que cualquier argumento que tenga la forma del método de la diferencia prueba la conexión causal, Mill tenía que mostrar que la conexión es a un tiempo invariable e incondicionada. Mill pensaba que podía hacerlo. Sin embargo, los filósofos de la ciencia están de acuerdo en general en que Mill no logró probar su tesis. Los argumentos de Mill para sustentar su afirmación se basan en dos premisas, y no logró establecer como verdadera ninguna de las dos premisas.

La primera premisa es que los casos positivos y negativos que se ajustan al esquema de la diferencia difieren exactamente en una circunstancia relevante. Pero, como ya se señaló antes, Mill no pudo establecer esto. Lo más que pudo conseguir fue mostrar que en muchos casos se había observado que las secuencias eran invariables a pesar del hecho de que sólo se habían tenido en cuenta un pequeño número de circunstancias. Pero esto no es suficiente para probar que ninguna otra circunstancia no pudiera ser relevante para que el fenómeno tuviera o no lugar.

La segunda premisa es un principio de causalidad universal, el cual estipula que para cada fenómeno existe un conjunto de circunstancias-antecedentes de las que es invariable e incondicionalmente consecuente. Mill exigió que la verdad de la ley de la causalidad se estableciese sobre bases empíricas, y reconoció que, al exigir esto, se enfrentaba a una paradoja. La paradoja es que, si la ley de la causalidad ha de probarse en la experiencia, entonces ella misma debe ser la conclusión de un argumento inductivo. Pero todo argumento inductivo que pruebe su conclusión presupone la verdad de la ley de causalidad. Mill concedió que su prueba parecía encerrar un círculo vicioso. Reconoció que no podía probar la ley de la causalidad por medio de un argumento inductivo usando el método de la diferencia. Hacerlo así sería circular, ya que la ley de la causalidad es necesaria para justificar el propio método de la diferencia.

Mill pensaba que podía evitar que el círculo se cerrase por medio de una tesis sobre los argumentos inductivos por enumeración simple. Sostenía que

lo precario del método de enumeración simple está en razón inversa a la amplitud de la generalización. El proceso es engañoso e insuficiente, justo en la proporción en que el objet de la observación sea especial y limitado en extensión.

Conforme la esfera se amplía, este método no científico cada vez nos lleva menos a error; y la clase más universal de verdades, la ley de la causalidad, por ejemplo... (es) debida y satisfactoriamente probada con este solo método [12].

Así, mientras que la generalización «todos los cuervos son negros» es precaria (recuérdese el descubrimiento de cisnes negros), la generalización «para todo acontecimiento de un tipo dado existe un conjunto de circunstancias de las que es invariable e incondicionalmente consecuencia» no lo es.

Mill sostenía que la ley de la causalidad es una generalización de tal amplitud que cada secuencia de acontecimientos permite la comprobación de su verdad. También sostenía que no se conoce ninguna excepción a esta ley. Según Mill, toda presunta excepción «suficientemente abierta a nuestra observación» se ha debido o a la ausencia de una circunstancia-antecedente ordinariamente presente, o a la presencia de una circunstancia ordinariamente ausente [13]. Concluía que, debido a que cada secuencia de acontecimientos es una prueba de la ley de la causalidad, y debido a que todas las secuencias investigadas han confirmado la ley, la ley ha de ser una verdad necesaria.

Mill proclamó con ello haber demostrado que un argumento inductivo por enumeración simple a partir de premisas empíricas prueba que la ley de la causalidad es una verdad necesaria. Sin embargo, la «prueba» de Mill no logra el éxito. Ninguna apelación a la experiencia, al modo como las cosas son, prueba que las cosas no puedan ser de otra manera. Incluso si Mill pudiera garantizar su afirmación de que nunca ha habido una excepción genuina a la ley de la causalidad, esto no probaría que la ley fuese una verdad necesaria. Y Mill necesita que la ley de la causalidad sea una verdad necesaria para justificar su afirmación de que los argumentos que se ajustan al método de la diferencia prueban conexiones causales.

La visión hipotético-deductiva de Jevons

La tesis inductivista de Mill acerca del contexto de justificación fue inmediatamente criticada por Jevons. Jevons insistió en que para justificar una hipótesis deben hacerse dos cosas. Se ha de mostrar que no es incompatible con otras leyes bien confirmadas y que sus consecuencias concuerdan con lo observado [14]. Pero mostrar que una hipótesis tiene consecuencias que concuerdan con las observaciones es

[12] Ibid., II, 101.
[13] Ibid., II, 103.
[14] Jevons, *The Principles of Science* (Nueva York: Dover Publications, 1958), 510-11.

emplear argumentos *deductivos*. De este modo Jevons rechazó la afirmación de Mill de que la justificación de las hipótesis se lleva a cabo por medio de la satisfacción de un esquema inductivo. Al obrar así, Jevons reiteró el énfasis que Aristóteles, Galileo, Newton, Herschel y muchos otros pusieron sobre la contrastación deductiva.

Capítulo 11

EL POSITIVISMO MATEMATICO Y EL CONVENCIONALISMO

GEORGE BERKELEY (1685-1753) nació en Irlanda y era de estirpe inglesa. Se educó, y más tarde enseñó, en el Trinity College, de Dublín. Anglicano devoto, Berkeley fue nombrado Deán de Derry en 1724. Poco después intentó fundar un colegio en las Bermudas, proyecto que fracasó por falta de fondos. Se hizo cargo del obispado de Cloyne en 1734. La filosofía anti-materialista de Berkeley está formulada en el *Treatise Concerning the Principles of Human Knowledge* (Tratado sobre los principios del conocimiento humano) (1710) y *Three Dialogues Between Hylas and Philonous* (Tres diálogos entre Hilas y Filonus) (1973). Sus escritos posteriores incluyen una crítica de la versión newtoniana del cálculo diferencial (*The Analyst*) (El analista, 1734), y una crítica positivista de la física de Newton (*De Motu*, 1721).

ERNST MACH (1838-1916) fue un físico, educado en Viena, que hizo contribuciones a la mecánica, la acústica, la termodinámica y la psicología experimental, además de a la filosofía de la ciencia. Predicó la cruzada contra la intrusión de interpretaciones «metafísicas» en la física. En contra de la opinión de que la ciencia debe tratar de describir alguna «realidad objetiva» —v. g., átomos— más allá de las apariencias, Mach insistió en que la ciencia debe aspirar a una descripción económica de las relaciones entre los fenómenos.

HENRI POINCARÉ (1854-1912) nació en Nancy en el seno de una distinguida familia. Su primo Raymond fue Presidente de la República Francesa durante la Primera Guerra Mundial. Poincaré asistió a la Ecole des Mines con la intención de convertirse en ingeniero de minas, pero sus intereses se desviaron hacia las matemáticas puras y aplicadas. Tras un breve período en la Universidad de Caen, entró a formar parte del profesorado de la Universidad de París (1881). Poincaré hizo importantes contribuciones a la matemática pura y a la mecánica celeste. Su escrito de 1906 sobre el electrón anticipó algunos de los resultados obtenidos por Einstein en la Teoría Especial de la Relatividad. Las obras de

Poincaré sobre filosofía de la ciencia —*La ciencia y la hipótesis* (1905) y *El valor de la ciencia* (1907)— subrayaron el papel de las convenciones en la formulación de las teorías científicas.

KARL POPPER (1902-) fue profesor de lógica y metodología de la ciencia en la Universidad de Londres. En su influyente *Logic of Scientific Discovery* (La lógica de la investigación científica) (edición alemana en 1934 e inglesa en 1959), Popper criticó la búsqueda por parte del Círculo de Viena de un criterio para los enunciados empíricamente significativos y sugirió en su lugar que la ciencia habría de demarcarse de la pseudociencia sobre la base de la metodología practicada. Reiteró y desarrolló su posición en *Conjectures and Refutations* (Conjeturas y refutaciones) (1963). Durante la Segunda Guerra Mundial, Popper publicó *The Open Society and its Enemies* (La sociedad abierta y sus enemigos), un ataque a Platón, Hegel, Marx y a todos los pensadores que imponen leyes inexorables a la historia.

El positivismo matemático de Berkeley

Uno de los primeros críticos de la filosofía de la ciencia de Newton fue George Berkeley, filósofo que consiguió notoriedad al proponer varios argumentos para probar que las «sustancias materiales» no existen. En su crítica de Newton, Berkeley le acusó de no atender a sus propias advertencias. Newton había advertido que una cosa era formular las correlaciones matemáticas concernientes a fuerzas, y otra cosa muy distinta descubrir lo que las fuerzas son «en sí mismas». Berkeley sostenía que Newton estaba en lo cierto al distinguir sus teorías matemáticas de la refracción y de la gravitación de las hipótesis sobre la «naturaleza real» de la luz y la gravedad. Lo que inquietaba a Berkeley era que Newton, bajo la forma de «cuestiones» sugerentes, hablase de las fuerzas como si fuesen algo más que términos de ecuaciones. Berkeley mantenía que las «fuerzas» en la mecánica eran análogos de los epiciclos en la astronomía. Estas construcciones matemáticas son útiles para calcular los movimientos de los cuerpos; pero según Berkeley, es un error atribuir a estas construcciones una existencia real en el mundo.

Berkeley sostenía que todo el contenido de la mecánica newtoniana viene dado en un conjunto de ecuaciones, junto con la afirmación de que los cuerpos no se mueven a sí mismos. Berkeley estaba muy dispuesto a admitir la afirmación de Newton de que los cuerpos no tienen el poder de moverse a sí mismos, pero advirtió que las referencias de Newton a las «fuerzas atractivas», «fuerzas cohesivas» y «fuerzas disolutivas» eran capaces de desorientar al lector. Estas «fuerzas» son sólo entidades matemáticas. Berkeley declaró que

las entidades matemáticas no tienen una esencia estable en la naturaleza de las cosas; y dependen de la noción del que las defina. Por tanto, una misma cosa puede explicarse de modos diferentes [1].

Berkeley defendió, pues, una visión instrumentalista de las leyes de la mecánica. Sostenía que estas leyes no son otra cosa que medios de cálculo para la descripción y predicción de fenómenos. E insistió en que ni los términos que aparecen en las leyes ni las dependencias funcionales expresadas por las leyes necesitan referirse a nada existente en la naturaleza. Berkeley mantenía, en particular, que no poseemos conocimiento de referente alguno para términos tales como «fuerza atractiva», «acción» e «*impetus*». Sólo sabemos que determinados cuerpos se mueven de determinada manera en ciertas condiciones. No obstante, Berkeley concedió que términos tales como «fuerza atractiva» e «*impetus*» tienen un uso importante en la mecánica, en virtud de su aparición en teorías que nos capacitan para predecir secuencias de acontecimientos.

Berkeley se opuso a la visión de la ciencia que compara a la ciencia con la cartografía. Las leyes y las teorías científicas no son como mapas. Cada entrada de un mapa topográfico designa un rasgo del terreno. Y lo adecuado de la representación de un mapa puede discernirse de un modo razonablemente directo. Pero no se da el caso de que cada término de una teoría científica deba designar un objeto, propiedad o relación independientemente cognoscible del universo.

El énfasis instrumentalista de Berkeley es coherente con, y quizás deriva de, su tesis metafísica de que el universo contiene sólo dos tipos de entidades: ideas y mentes. El enunciado con el que resume su posición es que «ser es percibir o ser percibido». Desde este punto de vista, las mentes son los únicos agentes causales. Las fuerzas no pueden ser causalmente eficaces.

Además, sostenía Berkeley, no se puede establecer distinción alguna entre «cualidades primarias» que sean propiedades objetivas de los cuerpos, y «cualidades secundarias» que existan sólo en la experiencia perceptiva del sujeto. Galileo, Descartes y Newton habían aceptado la distinción entre cualidades primarias y secundarias, y habían sugerido que la extensión, la posición y el movimiento son cualidades primarias. Berkeley, sin embargo, negó que hubiese cualidades primarias de los cuerpos. Insistió en que la extensión y el movimiento son cualidades sensibles lo mismo que el calor y el brillo. Cualquier conocimiento que tengamos sobre la extensión y el mo-

---

1 George Berkeley, «Of Motion», en *The Works of George Berkeley*, ed. por A.A. Luce y T.E. Jessop, vol. IV (Londres: Thomas Nelson, 1951), 50.

vimiento de los cuerpos nos viene dado en nuestra experiencia perceptiva.

Berkeley sostenía que no tiene sentido hablar, como había hecho Newton, de movimientos en el espacio absoluto. El espacio no es algo que exista aparte de, y con independencia de, nuestra percepción de los cuerpos. Berkeley señaló que si no existiesen cuerpos en el universo, no sería posible asignar intervalos espaciales. Concluyó que si no es posible asignar intervalos espaciales en tal situación, entonces no es significativo hablar de un «espacio» desprovisto de cuerpos.

Además, Berkeley señaló que si dejasen de existir todos los cuerpos menos uno, entonces no podría asignarse ningún movimiento a este cuerpo. Esto se debe a que todo movimiento es relativo. Hablar del movimiento de un cuerpo es hablar de sus relaciones cambiantes con otros cuerpos. El movimiento de un cuerpo aislado dentro de un espacio absoluto es inconcebible.

Tampoco el experimento del cubo de Newton establece la existencia del espacio absoluto. Berkeley observó correctamente que el movimiento del agua en el cubo no es un «movimiento circular verdadero», dado que se compone, no sólo del movimiento del cubo, sino también de la rotación de la Tierra y de su revolución alrededor del Sol. Concluyó que este movimiento que Newton había citado como rotación con respecto al espacio absoluto puede ser referido a otros cuerpos del universo distintos del cubo [2].

En la aplicación de su teoría de la mecánica, Newton se vio forzado a sustituir intervalos espaciales relativos en lugar de distancias en el espacio absoluto. Berkeley sugirió que las referencias de Newton a movimientos en el espacio absoluto podrían eliminarse de la física sin que la disciplina se viese empobrecida en modo alguno. Mantenía que, mientras que «fuerza atractiva» e «*impetus*» son ficciones matemáticas útiles, «espacio absoluto» es una ficción inútil que debe ser eliminada de la física. Recomendó que se tomasen las estrellas fijas como marco de referencia para la descripción de los movimientos.

La reformulación de la mecánica de Mach

En la última parte del siglo XIX, Ernst Mach desarrolló una crítica de la filosofía de la ciencia de Newton que era sorprendentemente similar a la crítica ofrecida por Berkeley. Mach compartió con Berkeley la visión instrumentalista de las leyes y teorías científicas. Declaró que

---

2 Ibid., 48-9.

es el objeto de la ciencia sustituir o *ahorrar* experiencias, mediante la reproducción y anticipación de hechos en el pensamiento [3].

Según Mach, las leyes y teorías científicas son resúmenes implícitos de hechos. Nos capacitan para describir y anticipar fenómenos. Un buen ejemplo es la ley de la refracción de Snell. Mach observó que, en la naturaleza, se dan diversos casos de refracción, y que la ley de la refracción es una «regla compendiadora» para la reconstrucción mental de estos hechos [4].

Mach sugirió un principio de economía como principio regulativo de la empresa científica. Afirmó que

la propia ciencia... puede considerarse como un problema de mínimos, consistente en la presentación más completa posible de hechos con el *mínimo gasto posible de pensamiento* [5].

El científico busca formular relaciones que resuman grandes cantidades de hechos. Mach destacó que un modo particularmente efectivo de lograr la economía de representación es la formulación de teorías vastas en las que las leyes empíricas se deduzcan de unos pocos principios generales.

Mach también compartió con Berkeley la convicción de que es un error suponer que los conceptos y relaciones de la ciencia corresponden a lo que existe en la naturaleza. Concedió, por ejemplo, que las teorías sobre los átomos pueden ser útiles para la descripción de ciertos fenómenos, pero insistió en que esto no proporciona pruebas de la existencia de átomos en la naturaleza.

Como Berkeley, Mach rechazó el postular un ámbito de «realidad» —ya fuese de cualidades primarias, átomos o cargas eléctricas— más allá del ámbito de la apariencia. Su fenomenalismo fue casi tan completo como el de Berkeley. Declaró que

en la investigación de la naturaleza, hemos de tratar sólo del conocimiento de la conexión de unas apariencias con otras. Aquello que nos representamos a nosotros mismos más allá de las apariencias existe *solamente* en nuestro entendimiento, y sólo tiene para nosotros el valor de una *memoria technica* o fórmula, cuya forma, debido a que es arbitraria e irrelevante, varía muy fácilmente con el punto de vista de nuestra cultura [6].

---

[3] Ernst Mach., *The Science of Mechanics*, trad. por T. J. McCormack (La Salle: Open Court, 1960), 577.

[4] Ibid., 582.

[5] Ibid., 586.

[6] Mach, *History and Root of the Principle of the Conservation of Energy*, trad. por P. E. B. Jourdain (Chicago, Open Court, 1911), 49.

Mach pretendió reformular la mecánica newtoniana desde una posición fenomenalista. Esperaba mostrar, mediante esta reformulación, que la mecánica puede ser despojada de especulaciones «metafísicas» acerca de movimientos en el espacio y el tiempo absolutos. La reformulación tomó la forma de una división de las proposiciones fundamentales de la mecánica en dos clases: generalizaciones empíricas y definiciones *a priori*.

De acuerdo con Mach, las generalizaciones empíricas básicas de la mecánica son: 1) que

> cuerpos situados uno frente a otro inducen uno en otro, en ciertas condiciones que ha de especificar la física experimental, aceleraciones contrarias en la dirección de la línea que los une;

2) que la razón de las masas de los cuerpos es independiente de los estados físicos de los cuerpos; y 3) que las aceleraciones que cada cuerpo *A, B, C*, ... induce en el cuerpo *K* son independientes unas de otras.

A estas generalizaciones empíricas, Mach les añadió las definiciones de «razón de las masas» y «fuerza». La «razón de las masas» de dos cuerpos es «la razón inversa negativa de las aceleraciones mutuamente inducidas de esos cuerpos», y «fuerza» es el «producto de la masa por la aceleración» [7].

Mach consideraba las generalizaciones empíricas como verdades contingentes que se confirman por medio de la prueba experimental. Por supuesto, estas generalizaciones quedarían refutadas si los resultados de los experimentos resultasen diferentes de los observados hasta ahora.

Mach enfatizó que las generalizaciones, en su reformulación, sólo llegan a ser empíricamente significativas sobre la base de la especificación de procedimientos para medir intervalos espaciales y temporales. Sugirió que los intervalos espaciales deben medirse con relación a un sistema de coordenadas definido por las estrellas «fijas», eliminando con ello las referencias al espacio absoluto. También insistió en que, si no tiene sentido hablar de un movimiento «uniforme en sí mismo», han de eliminarse las referencias al tiempo absoluto. Según Mach, los intervalos temporales deben medirse mediante procesos físicos.

Pero incluso si pueden hallarse procedimientos físicos satisfactorios para determinar los intervalos espacio-temporales, puede argumentarse que Mach no ha establecido que las generalizaciones de su reformulación se hallen sujetas a la posibilidad de ser falsadas. La

---

[7] Mach, *The Science of Mechanics*, 303-04.

expresión «en ciertas condiciones que ha de especificar la física experimental», que aparece en la primera generalización, esconde un problema. El físico busca contrastar la generalización en sistemas aislados que no se vean afectados por los cambios externos al propio sistema. Pero el no encontrarse con «aceleraciones contrarias en la dirección de la línea que los une» puede considerarse que prueba, no que la generalización es falsa, sino que los dos cuerpos han sido imperfectamente aislados de influencias perturbadoras. Un físico interesado en preservar a toda costa la generalización aludida podría usarla como una convención para determinar si un sistema de cuerpos puede calificarse de sistema aislado. Como convención, esta relación no estaría sujeta a confirmación ni a refutación.

Duhem y la lógica de la refutación

El punto de vista convencionalista recibió un apoyo adicional de manos del análisis que sobre la refutación de hipótesis hiciera Pierre Duhem. Duhem subrayó cómo la predicción de un fenómeno que ha de ocurrir se hace a partir de un conjunto de premisas que incluyen leyes y enunciados relativos a las condiciones-antecedentes.

Consideremos un ejemplo en el que la ley «todos los papeles de tornasol azules se vuelven rojos en una solución ácida» se somete a contrastación sumergiendo un pedazo de papel en un líquido. Siguiendo el esquema, predecimos que el papel se volverá rojo, esto es:

L	Para todos los casos, si se introduce un pedazo de papel de tornasol azul en una solución ácida, entonces se vuelve rojo.
C	Se introduce un pedazo de papel de tornasol azul en una solución ácida.
∴ *E*	El pedazo de papel se vuelve rojo.

Este argumento es válido; si las premisas son verdaderas, la conclusión debe ser también verdadera. En consecuencia, si la conclusión es falsa, al menos una de las premisas debe ser falsa. Pero si el papel no se vuelve rojo, lo que queda refutado es la conjunción de *L* y *C*, y no la propia *L*. Se puede continuar afirmando *L* con sólo decir que no había tintura azul de tornasol o que el papel no fue puesto en una solución ácida. Por supuesto, pueden existir otros medios independientes para discernir la verdad del enunciado de las condiciones-antecedentes. Pero la observación de que no ocurre *E* no refuta, por sí sola, a *L*.

Duhem estaba principalmente interesado en casos más complejos, en los que intervienen varias hipótesis en la predicción de que ocurrirá cierto fenómeno. Destacó que, aunque en tales casos las condiciones-antecedentes estuviesen correctamente establecidas, el que no se observe el fenómeno predicho refuta únicamente la conjunción de las hipótesis. Para restaurar el acuerdo con las observaciones, el científico es libre de alterar cualquiera de las hipótesis que aparecen en las premisas. Puede decidir, por ejemplo, dejar como está una determinada hipótesis, y sustituir o modificar las otras hipótesis del conjunto. Adoptar esta estrategia es atribuir a esa determinada hipótesis el rango de una convención para la que no se presenta el problema de la verdad o falsedad.

Pero aunque Duhem indicó el modo en que una hipótesis puede convertirse en una convención no revocable, no ofreció una lista de las hipótesis específicas que no deben interpretarse sino como convenciones. Pensaba que, cuando surge la experiencia refutatoria, debe dejarse al buen juicio de los científicos la decisión sobre qué supuestos de una teoría deben modificarse. E indicó que una condición necesaria para el ejercicio del buen juicio es una actitud desapasionada y objetiva.

En algunos casos, puede haber buenas razones para efectuar cambios en uno de los supuestos de una teoría antes que en otro de ellos. Esto sería así, por ejemplo, si uno de los supuestos apareciera en diversas teorías confirmadas, mientras que el segundo supuesto no estuviese presente sino en la teoría que se encuentra bajo consideración. Pero no existe nada en la lógica de la refutación que señale la parte errónea de la teoría.

Duhem aplicó su análisis de la lógica de la refutación a la idea de «experimento decisivo». Francis Bacon había sugerido que existen experimentos decisivos, o «casos del poste indicador», que dirimen concluyentemente la competencia entre teorías. En el siglo XIX era normal suponer que la determinación de Foucault de que la velocidad de la luz es mayor en el aire que en el agua era un experimento decisivo. El físico Arago, por ejemplo, afirmó que el experimento de Foucault demostraba, no sólo que la luz *no* es un chorro de partículas, sino también que la luz *es* un movimiento ondulatorio.

Duhem señaló que Arago estaba equivocado en dos cosas. En primer lugar, el experimento de Foucault refuta sólo un conjunto de hipótesis. Dentro de las teorías corpusculares de Newton y Laplace, la predicción de que la luz se mueve más rápido en el agua que en el aire, se deduce a partir de un grupo de proposiciones. La hipótesis de la emisión, que compara a la luz con un chorro de proyectiles, no es sino una de tales premisas. Existen, además, proposi-

ciones acerca de las interacciones de los corpúsculos emitidos y del medio a través del que viajan. Los partidarios de la teoría corpuscular, enfrentados al resultado de Foucault, podrían haber decidido mantener la hipótesis de la emisión y hacer ajustes en las otras premisas de la teoría corpuscular. Y en segundo lugar, aun cuando se supiera por otros medios que todos los supuestos de la teoría corpuscular menos la hipótesis de la emisión son verdaderos, el experimento de Foucault no alcanzaría para probar que la luz es un movimiento ondulatorio. Ni Arago, ni ningún otro científico podrían demostrar que la luz ha de ser un chorro de partículas *emitidas* o un movimiento ondulatorio. Podría haber una tercera alternativa. Duhem señaló que un experimento podría ser «decisivo» si eliminase de modo concluyente todos los posibles conjuntos de premisas explicativas excepto uno. Estaba en lo correcto al insistir en que no puede haber experimentos de este tipo [8].

El convencionalismo de Poincaré

Fue Henri Poincaré quien desarrolló más vigorosamente las implicaciones de una visión convencionalista de los principios generales de la ciencia. Poincaré disoció la afirmación de Whewell de que determinadas leyes científicas se convierten en verdades *a priori* de la epistemología kantiana a que apelaba Whewell para justificar el carácter *a priori* de estas leyes. Para Poincaré, no hay duda de la existencia de un conjunto de ideas inmutables que invisten, de algún modo, de necesidad a las leyes científicas. Poincaré mantenía que el hecho de que una ley científica se tuviese por verdadera con independencia de cualquier apelación a la experiencia refleja únicamente la decisión implícita de los científicos de usar la ley como una convención que especifica el significado de un concepto científico. Si una ley es una verdad *a priori,* esto se debe a que ha sido establecida de tal manera que ninguna prueba empírica puede ir en contra suya.

Dos usos de las leyes de la mecánica

La ley de inercia, por ejemplo, no está sujeta a confirmación o refutación directa por prueba empírica. En la formulación de Poincaré, el «principio inercial generalizado» especifica que la aceleración de un cuerpo depende sólo de su posición y de las velocidades y

[8] Pierre Duhem, *The Aim and Structure of Physical Theory,* trad. por Philip P. Wiener (Nueva York: Atheneum, 1962), 186-90.

posiciones de los cuerpos vecinos [9]. Poincaré observó que una contrastación *decisiva* de este principio requeriría que, tras cierto período, cada cuerpo del universo volviese a la posición y velocidad que tenía en un instante anterior determinado. Pero tal contrastación no puede hacerse. Lo más que puede conseguirse es examinar la conducta de grupos de cuerpos que se encuentran razonablemente aislados del resto del universo. No es necesario decir que, si no se observasen los movimientos predichos en el interior de un sistema supuestamente aislado, ello no refutaría el principio inercial generalizado. Las discrepancias podrían atribuirse a un aislamiento incompleto del sistema. Podrían repetirse los cálculos tomando en cuenta las posiciones y velocidades de nuevos cuerpos. No hay un límite para el número de revisiones de este tipo que podrían hacerse.

Poincaré concluyó que el principio inercial generalizado puede ser considerado como una convención que estipula el significado de la expresión «movimiento inercial». Desde este punto de vista, «movimiento inercial» *significa* «movimiento de un cuerpo cuya aceleración depende sólo de su posición y de las posiciones y velocidades de los cuerpos vecinos». Por definición, cualquier cuerpo cuyo movimiento no se haya calculado correctamente, a partir de los datos de su posición y de las posiciones y velocidades de un conjunto de cuerpos vecinos, no es un cuerpo con movimiento inercial.

Sin embargo, aunque Poincaré sostenía que el principio inercial generalizado puede usarse, y se usa, como una convención que define de modo implícito la expresión «movimiento inercial», también mantenía que el principio podía usarse como una generalización empíricamente significativa, válida de modo aproximado para los sistemas «casi aislados». Poincaré hizo un análisis parecido del rango cognoscitivo de las otras dos leyes del movimiento de Newton. Por un lado, estas leyes funcionan como definiciones convencionales de «fuerza» y «masa». Por otro lado, dados procedimientos para medir el espacio, el tiempo y las fuerzas, las leyes son generalizaciones que se confirman de modo aproximado para sistemas «casi aislados».

Por tanto, sería incorrecto atribuir a Poincaré la opinión de que las leyes científicas generales no son sino convenciones que definen conceptos científicos fundamentales. Estas leyes tienen una función legítima como convenciones, pero también tienen una función legítima como generalizaciones empíricas. Comentando las leyes de la mecánica, Poincaré declaró que

---

[9] Henry Poincaré, *Science and Hypothesis*, trad. por G. B. Halsted (Nueva York: Science Press, 1905), 69 [ed. cast., *La ciencia y la hipótesis;* Buenos Aires, Espasa-Calpe, 1944 (trad. por A. B. Benito y J. Baufi)].

se nos presentan bajo dos aspectos diferentes. Por un lado, son verdades basadas en la experimentación y aproximadamente verificadas en lo que concierne a los sistemas casi aislados. Por otro lado, son postulados aplicables a la totalidad del universo y considerados como rigurosamente ciertos [10].

Poincaré señaló que, en el curso del desarrollo de la ciencia, ciertas leyes han ido presentando estos dos aspectos. Inicialmente estas leyes se emplearon solamente como generalizaciones experimentales. Por ejemplo, una ley podría establecer una relación entre los términos *A* y *B*. Al darse cuenta de que la relación se mantiene de un modo sólo aproximado, los científicos pueden introducir el término *C* que, por definición, mantiene con *A* la relación que expresa la ley. La ley experimental original ha quedado ahora dividida en dos partes: un principio *a priori* que establece una relación entre *A* y *C*, y una ley experimental que establece una relación entre *B* y *C* [11].

Cuando son implícitamente definidos por las leyes del movimiento de Newton, los términos «movimiento inercial», «fuerza» y «masa» son términos del mismo tipo que *C*. Poincaré sostenía que es una cuestión de convención el que se considere que estos términos son definidos por las leyes de Newton. Ningún elemento de juicio empírico podría probar que la relación establecida entre los términos *A* y *C* es falsa. Pero esto no quiere decir que la elección de la definición sea arbitraria. Poincaré insistió en que la introducción de convenciones en la teoría física sólo se justifica si resulta fructífera en la investigación posterior [12].

La elección de una geometría para describir el «espacio físico»

Poincaré mantenía también que es una cuestión de convención qué geometría pura se emplea para describir las relaciones espaciales entre los cuerpos. Sin embargo, predijo que los científicos continuarían eligiendo la geometría euclídea porque es la más sencilla de aplicar.

En el siglo XIX, el matemático Carl Gauss llevó a cabo un experimento para confirmar la descripción euclídea de las relaciones espaciales. Midió la suma angular de un triángulo formado por rayos de luz emitidos desde las cimas de montañas distantes. Gauss se encontró con que, dentro de los límites de exactitud de su equipo de observación, no había desviación del valor euclídeo de 180 grados.

---

10 Ibid., 98.

11 Ibid., 100.

12 Poincaré, *The Value of Science*, trad. por G. B. Halsted (Nueva York: Science Press, 1907), 110 [ed. cast., *El valor de la ciencia;* Buenos Aires, Espasa-Calpe, 1946 (trad. por J. Baufi y A. B. Besio)].

Pero aun si Gauss hubiese encontrado una desviación apreciable de los 180 grados, esto no habría probado que la geometría euclídea fuese inaplicable a las relaciones espaciales en la superficie de la Tierra. Cualquier desviación del valor euclídeo podría ser atribuida a una «curvatura» de los rayos de luz utilizados para hacer las apreciaciones.

Poincaré llamó la atención sobre el hecho de que la aplicación de una geometría pura a la experiencia lleva necesariamente consigo hipótesis sobre fenómenos físicos, tales como la propagación de los rayos de luz, las propiedades de las varas de medir y otros semejantes. Poincaré destacó que la aplicación de una geometría pura a la experiencia, como toda teoría física, tiene un componente abstracto y un componente empírico. Cuando una geometría física no está de acuerdo con las observaciones, el acuerdo puede volver a lograrse sustituyendo la geometría pura por otra diferente —por un sistema de axiomas diferente— o modificando las hipótesis físicas asociadas. Poincaré creía que, al enfrentarse a tal dilema, los científicos elegirían invariablemente modificar las hipótesis físicas y conservar la más conveniente geometría pura euclídea [13].

Mas, como Hempel ha señalado, en ciertos casos se puede lograr una sencillez global mayor adoptando una geometría no euclídea y conservando sin cambios las hipótesis físicas asociadas. Según Hempel, Poincaré estaba equivocado al restringir las consideraciones de complejidad sólo a las geometrías puras. Lo que cuenta es la complejidad de la conjunción de una geometría pura con las hipótesis físicas asociadas [14].

Popper y la falsabilidad como criterio del método empírico

Karl Popper decidió tomar en serio el punto de vista convencionalista. Observó que siempre es posible lograr el acuerdo entre una teoría y los datos de la observación. Si unos determinados datos resultan incompatibles con las consecuencias de la teoría, cabe adoptar un buen número de estratagemas para «salvar» la teoría. Pueden rechazarse de plano los datos o se puede dar cuenta de ellos, bien sea incorporando hipótesis auxiliares, o bien modificando las reglas de correspondencia [15]. Estas estratagemas pueden introducir un abru-

---

[13] Poincaré, *Science and Hypothesis*, 39.

[14] Carl Hempel, «Geometry and Empirical Science», *American Mathematical Monthly*, 52 (1945), 7-17; reimpresión en H. Feigl y W. Sellars, eds., *Readings in Philosophical Analysis*, 238-49.

[15] Las reglas de correspondencia son reglas semánticas, o «entradas del diccionario» (Campbell), que ligan los axiomas de una teoría con enunciados

mador grado de complejidad en el seno de un sistema teórico. A pesar de todo, siempre es posible eludir los elementos de juicio falsadores mediante estos procedimientos.

De acuerdo con Popper, el método empírico adecuado ha de exponer permanentemente a una teoría a la posibilidad de ser falsada. Popper llegó a la conclusión de que la forma de combatir al convencionalismo consiste en adoptar la resolución de no emplear sus métodos. Consecuente con dicha conclusión, propuso un conjunto de reglas metodológicas para las ciencias empíricas. La regla suprema es un criterio de adecuación para todas las demás reglas, de la misma manera que el imperativo categórico kantiano es un criterio de adecuación para las normas morales. Esta regla suprema establece que todas las reglas del método empírico

> deben estar de tal forma diseñadas que no protejan a ningún enunciado científico contra la falsación [16].

En relación al problema de la incorporación de hipótesis auxiliares a una teoría, pongamos por caso, Popper afirmó que sólo serían admitidas aquellas hipótesis que aumentasen el grado de falsabilidad de la teoría. A este respecto comparó el principio de exclusión de Pauli y la hipótesis de la contracción de Lorentz [17]. El principio de Pauli fue un añadido a la teoría atómica de Bohr-Sommerfeld. Pauli sostenía que no podía haber dos electrones en un mismo átomo que tuvieran el mismo conjunto de números cuánticos. Por ejemplo, dos electrones de un átomo pueden diferenciarse en el momento angular orbital o en el sentido de la rotación. La adición de este principio de exclusión a la teoría de la estructura atómica entonces aceptada permitió hacer muchas otras predicciones acerca de los espectros atómicos y las combinaciones químicas. La hipótesis de la contracción de Lorentz, por su parte, no aumentó el grado de falsabilidad de la teoría del éter a la que se había añadido. Lorentz sostenía que todos los cuerpos terrestres sufren una ligera contracción en la dirección del movimiento de la Tierra a través del éter circundante. Por medio de esta hipótesis fue capaz de explicar el resultado del experimento de Michelson-Morley. Michelson y Morley habían mostrado que la velocidad de ida y vuelta de la luz es la misma en todas las direcciones de la superficie terrestre. Este resultado experimental era incompa-

---

de magnitudes empíricamente determinadas. Véase Karl Popper, *The Logic of Scientific Discovery* (New York: Basic Books, 1959), 81 [ed. cast., *La lógica de la investigación científica;* Madrid, Tecnos, 1967 (trad. por Víctor Sánchez de Zavala)].

16 Ibid., 54.

17 Ibid., 83.

tible con la teoría del éter, según la cual la velocidad de ida y vuelta debía ser menor en la dirección del movimiento de la Tierra a través del éter que en una dirección perpendicular a este movimiento. La hipótesis de la contracción de Lorentz restableció el acuerdo entre la teoría y el experimento, pero lo hizo de una manera *ad hoc*. No se extrajo ninguna otra predicción de esta teoría del éter ampliada. Popper citó la hipótesis de Lorentz como una hipótesis que debería quedar excluida de la ciencia empírica en virtud del criterio de falsabilidad.

Popper contemplaba la historia de la ciencia como una secuencia de conjeturas, refutaciones, conjeturas revisadas y nuevas refutaciones, y llegó a la conclusión de que el rasgo distintivo de las interpretaciones científicas es el «ser susceptible de revisión» [18]. Afirmó que la adopción de las reglas del método empírico por él propuestas sería compatible con la naturaleza dinámica y autocorrectora de la investigación científica. De acuerdo con Popper, insistir en que las interpretaciones han de estar expuestas permanentemente a la posibilidad de falsación es promover el progreso científico.

---

[18] Ibid., 49.

Capítulo 12

LA FILOSOFIA DE LA CIENCIA DEL RECONSTRUCCIONISMO LOGICO

PERCY WILLIAMS BRIDGMAN (1882-1961) fue un físico, ganador del Premio Nobel, que llevó a cabo las primeras investigaciones sobre las propiedades de la materia bajo grandes presiones. Determinó experimentalmente las propiedades térmicas y eléctricas de diversas sustancias bajo presiones de hasta 100.000 atmósferas. En 1939 cerró su laboratorio de alta presión en Harvard a los visitantes procedentes de países totalitarios, actitud que suscitó controversias dentro de la comunidad académica. Bridgman defendió una orientación metodológica conocida como operacionalismo, en la que se hace hincapié sobre las operaciones realizadas para asignar valores a los conceptos científicos.

ERNEST NAGEL (1901-) nació en Checoslovaquia, marchó a los Estados Unidos en 1911, y casi toda su carreta académica ha transcurrido como profesor de filosofía en la Universidad de Columbia. Nagel fue uno de los primeros filósofos americanos que contemplaron con simpatía la obra del Círculo de Viena. Su obra *The Structure of Science* (La estructura de la ciencia) (1960) contiene penetrantes análisis de la lógica de la explicación científica, la universalidad nómica, la causalidad y la estructura y rango cognoscitivo de las teorías.

Una jerarquía de niveles de lenguaje

Después de la Segunda Guerra Mundial, la filosofía de la ciencia surgió como una disciplina académica independiente, complementada con departamentos de investigación y revistas especializadas. Esta profesionalización se debió en parte al hecho de que los filósofos de la ciencia creyesen que había aún objetivos que lograr y que la ciencia se beneficiaría de ellos.

La filosofía de la ciencia de posguerra fue un intento de llevar a la práctica el programa sugerido por Norman Campbell. En sus *Foundations of Science* (Los fundamentos de la ciencia) (1919)[1], Campbell señaló cómo los recientes estudios de Hilbert, Peano y otros acerca de los fundamentos de la matemática habían esclarecido la naturaleza de los sistemas axiomáticos. Este desarrollo tuvo una cierta importancia en la práctica de las matemáticas. Campbell sostuvo que un estudio de los «fundamentos» de la ciencia empírica tendría un valor análogo para la práctica de la ciencia. Entre los «fundamentos» discutidos por Campbell se cuentan la naturaleza de la medición y la estructura de las teorías científicas[2].

Los filósofos de la ciencia que trataron de desarrollar su disciplina como algo análogo a los estudios sobre los fundamentos de la matemática aceptaron la distinción de Reichenbach entre el contexto del descubrimiento científico y el contexto de justificación[3]. Coincidían en que el dominio característico de la filosofía de la ciencia es el contexto de justificación. Trataron además de reformular las leyes y teorías científicas según los patrones de la lógica formal, de manera tal que las cuestiones relativas a la explicación y a la confirmación pudieran tratarse como problemas de lógica aplicada.

El gran éxito del reconstruccionismo lógico radicó en una nueva comprensión del lenguaje de la ciencia. El lenguaje de la ciencia consta de una jerarquía de niveles, cuya base la ocupan los enunciados que registran las indicaciones de los instrumentos y su vértice las teorías.

Los filósofos de la ciencia del reconstruccionismo lógico extrajeron varias conclusiones de importancia en relación a la naturaleza de esta jerarquía:

1) cada nivel es una «interpretación» del nivel inferior;

2) la capacidad de predicción de los enunciados aumenta de la base al vértice;

3) la distinción fundamental dentro del lenguaje de la ciencia es aquella que se da entre un «nivel observacional» —los tres niveles inferiores de la jerarquía— y un «nivel teórico» —el nivel superior

---

[1] N. R. Campbell, *Foundations of Science* (Nueva York: Dover Publications, 1957), 1-12.

[2] La posición de Campbell en relación a la estructura de las teorías científicas es tratada en el capítulo 9, pp. 143-48.

[3] Hans Reichenbach, *The Rise of Scientific Philosophy* (Berkeley: University of California Press, 1951 [ed. cast. *La filosofía científica;* México, Fondo de Cultura Económica, 1953; trad. H. Flores Sánchez]), 231. Esta distinción había sido hecha con anterioridad por John Herschel. El uso de esta distinción por parte de Herschel se discute en el Capítulo 9, Sección II, de esta obra.

de la jerarquía—. En el nivel observacional figuran enunciados acerca de «observables» tales como 'presión' y 'temperatura'; el nivel teórico contiene enunciados sobre «no observables» tales como 'genes' y 'quarks';

4) los enunciados del nivel observacional proporcionan la base contrastadora de los enunciados del nivel teórico.

Niveles de lenguaje en la ciencia

Nivel	*Contenido*	*Ejemplo*
Teorías	Sistemas deductivos cuyas leyes son teoremas	Teoría cinética molecular
Leyes	Relaciones invariables (o estadísticas) entre conceptos científicos	Ley de Boyle ('$P \propto 1/V$')
Valores de conceptos	Enunciados que asignan valores a los conceptos científicos	'$P=2.0$ atm.' '$V=1.5$ lit.'
Datos experimentales primarios	Enunciados relativos a las indicaciones de las agujas, meniscos, pasos de los contadores, etc.	'La aguja *p* marca 3.5'

El operacionalismo

En análisis que datan de 1927, P. W. Bridgman subrayó que todo concepto científico *bona fide* debe de estar vinculado a procedimientos experimentales que determinen sus valores[4]. Bridgman estaba impresionado por el tratamiento del concepto de simultaneidad por parte de Einstein.

Einstein había analizado las operaciones implicadas en el hecho de juzgar que dos acontecimientos son simultáneos. Observó que la determinación de una simultaneidad presupone una transmisión de información por medio de alguna señal desde los acontecimientos hasta un observador. Pero la transmisión de información desde un punto a otro requiere un lapso de tiempo finito. De este modo, en el caso de que los acontecimientos en cuestión tengan lugar en sistemas que se mueven el uno con respecto del otro, los juicios de si-

4 P. W. Bridgman, *The Logic of Modern Physics* (Nueva York, The Macmillan Company, 1927); *The Nature of Physical Theory* (Princeton: Princeton University Press, 1936).

multaneidad dependen de los movimientos relativos del sistema y del observador. Dado un determinado conjunto de movimientos, el observador Lince del sistema 1 puede considerar que el acontecimiento *x* del sistema 1 y el acontecimiento *y* del sistema 2 son simultáneos; el observador Halcón, en el sistema 2, puede opinar de manera diferente. No hay ningún punto de vista privilegiado desde el cual poder determinar que Lince tiene razón y no así Halcón, o viceversa. Einstein llegó a la conclusión de que la simultaneidad es una relación entre dos o más acontecimientos y un observador, y no una relación objetiva entre acontecimientos.

Bridgman sostuvo que son las operaciones mediante las que se asignan valores las que confieren significado empírico a un concepto científico. Señaló cómo las definiciones operacionales enlazan los conceptos con los datos experimentales primarios *via* el esquema

$$(x)\ [Ox \supset (Cx \equiv Rx)]$$ [5].

Dada una definición operacional, así como los correspondientes datos experimentales primarios, se puede deducir un valor para un concepto. Considérese un caso en el que la presencia de un cuerpo cargado eléctricamente se determina por medio de operaciones con un electroscopio:

$$\begin{array}{c} (x)\ [Nx \supset (Ex \equiv Dx)] \\ Na \\ Da \\ \hline Ea \end{array}$$

donde $Nx = x$ es un caso en el que se expone un objeto a la proximidad de un electroscopio neutral;
$Ex = x$ es un caso en el que el objeto está cargado eléctricamente, y
$Dx = x$ es un caso en el que las hojas del electroscopio se separan.

Puesto que *Na* y *Da* son datos experimentales primarios, este argumento deductivo capacita al científico para ascender, por decirlo así, desde los datos experimentales primarios —el nivel de lo «directamente observado»— al nivel de los conceptos científicos, esto es:

[5] 'Para todos los casos, si se realizan las operaciones O, entonces el concepto C se aplica si —y sólo si— tienen lugar los resultados R'.

Nivel de lenguaje	*Ejemplo*
Enunciados que asignan valores a conceptos científicos	*Ea*
Datos experimentales primarios	Esquema operacional (x) Nx (Ex Dx) *Na, Da*

Bridgman insistió en que si no se especificara ninguna definición operacional para un concepto, dicho concepto carecería de significado empírico y debería excluirse de la ciencia. Esta era la suerte de la «simultaneidad absoluta», y Bridgman recomendó exclusiones similares a propósito del «Espacio Absoluto» newtoniano y de la especulación de Clifford, según la cual, puesto que el sistema solar se mueve a través del espacio, tanto los instrumentos de medición como los objetos medidos se contraen en la misma proporción[6].

Sin embargo, aunque Bridgman insistió en que los vínculos se establecen entre enunciados relativos a términos teóricos y el lenguaje observacional en el que se registran los resultados de la medición, hubo de reconocer que los vínculos pueden ser mucho más complejos. Uno de los ejemplos de Bridgman es el concepto de tensión en un cuerpo elástico deformado. La tensión no se puede medir directamente, pero puede calcularse —a partir de las mediciones practicadas en la superficie del cuerpo— mediante una teoría matemática. De esta manera, para el concepto de tensión, las operaciones realizadas incluyen operaciones de «papel y lápiz». No importa. Dada la relación formal entre 'tensión' y 'deformación', así como los resultados de las operaciones instrumentales practicadas en la superficie del cuerpo, se sigue deductivamente un valor para la tensión. Esto basta para considerar a la tensión como un concepto aceptable desde el punto de vista operacionalista.

En sus escritos de posguerra, Bridgman destacó dos limitaciones del análisis operacional[7]. Una limitación reside en la imposibilidad de especificar todas las circunstancias presentes cuando se lleva a cabo una operación. Es preciso adoptar un compromiso entre el requisito de repetibilidad intersubjetiva y la conveniencia de una completa especificación de las condiciones bajo las cuales tiene lugar una operación.

[6] Bridgman, *The Logic of Modern Physics*, 28-29.

[7] Bridgman, *Reflections of a Physicist* (Nueva York: Philosophical Library, 1950), 1-42 *The Way Things Are* (Cambridge: Harvard University Press, 1959), Capítulo III.

Los científicos tienen ideas previas acerca de qué factores son relevantes para la determinación de los valores de una cantidad y trabajan en el supuesto de que no hay peligro en ignorar los numerosos factores «irrelevantes» que concurren en la repetición de un tipo determinado de operación para medir esa cantidad. Por ejemplo, los científicos realizan operaciones con manómetros con el fin de determinar la presión de los gases sin tener en cuenta la intensidad de la iluminación de la habitación o el tamaño de las manchas solares. Bridgman señaló que sólo la experiencia puede justificar que se dejen de tomar en consideración determinados factores y advirtió que la extensión de las operaciones a nuevas áreas de la experiencia podría requerir que se tomasen en consideración los factores hasta entonces ignorados.

Una segunda limitación del análisis operacional radica en la necesidad de aceptar ciertas operaciones inanalizadas. Por razones prácticas, el análisis de operaciones en términos de operaciones más básicas no puede proseguirse indefinidamente. Así, el concepto «más pesado que» puede analizarse en términos de operaciones realizadas con una balanza de brazos. Estas operaciones pueden a su vez ser analizadas de nuevo especificando los métodos de construcción y calibración de balanzas. Pero siempre que se observen las precauciones habituales sobre la paralaje, los científicos conceden que la determinación de la posición de la aguja en la escala de la balanza es una operación que no requiere ningún otro análisis.

Las operaciones realizadas para medir el «tiempo local» y la «longitud local» se aceptan como operaciones inanalizadas tanto en la física clásica como en la relativista. El «tiempo local» de un acontecimiento es su coincidencia con la posición de las manillas de un reloj. La «longitud local» de un cuerpo es la coincidencia de sus extremos con una barra rígida debidamente calibrada en aquellos casos en que no se da ningún movimiento del cuerpo con relación a la barra.

Por descontado, la determinación de coincidencias por este procedimiento no puede garantizar que el instrumento en cuestión funcione correctamente en cuanto balanza o reloj, ni que la barra sea una verdadera medida de longitud. Además, se pueden aceptar ciertas clases de determinaciones de coincidencias inanalizadas sin comprometerse con la fuerte posición de que tales clases de determinaciones de coincidencias son inanalizables. Bridgman subrayó que, si bien es necesario aceptar *algunas* operaciones inanalizadas, la decisión de aceptar sin análisis un conjunto dado de operaciones está sujeta a revisión en la medida en que nuestra experiencia se amplíe. Señaló que hasta ahora nuestra experiencia ha sido tal que no ha surgido

dificultad alguna para la teoría física como resultado de la aceptación de las anteriores determinaciones de coincidencias inanalizadas, pero insistió en que siempre resulta posible ofrecer un análisis más detallado de las operaciones [8]. Por lo tanto, según Bridgman, esas determinaciones de coincidencias inanalizadas que habitualmente se aceptan proporcionan a los enunciados teóricos sólo un ancla provisional en el lenguaje observacional.

El patrón deductivo de explicación

El esquema operacional relaciona enunciados relativos a conceptos científicos con datos experimentales primarios. A un nivel inmediatamente superior, el programa ortodoxo consiste en especificar las relaciones lógicas entre las leyes y los conceptos científicos. El programa puede llevarse a la práctica desde cualquiera de sus extremos. Dado un enunciado del valor de un concepto científico, se puede tratar de explicar este hecho por referencia a alguna ley. Y dada una ley, se puede buscar entre los enunciados de los valores de los conceptos científicos algún elemento de juicio que la confirme.

En un artículo enormemente influyente que publicaron en 1948, Carl Hempel y Paul Oppenheim se enfrentaron al problema de la explicación científica [9]. A propósito de la observación de un remero de que su remo está 'curvado', Hempel y Oppenheim señalaron que

> la pregunta '¿por qué ocurre el fenómeno?' se plantea con el significado de '¿según qué leyes generales y en virtud de qué condiciones-antecedentes ocurre el fenómeno?' [10].

El patrón deductivo de explicación de un fenómeno adopta la siguiente forma:

$L_1, L_2, \ldots L_k$	Leyes generales
$C_1, C_2, \ldots C_r$	Enunciados de condiciones-antecedentes
$\therefore E$	Descripción del fenómeno

[8] Bridgman, *The Way Things Are*, 51.

[9] Carl G. Hempel y Paul Oppenheim, «Studies in the Logic of Explanation», *Phil. Sci. 15* (1948), 135-75; recogido en Hempel, *Aspects of Scientific Explanation* (Nueva York: The Free Press, 1965 [ed. cast. *La explicación científica*; Buenos Aires, Paidós, 1979; trad. por M. Frasinetti de Gallo, N. Míguez, I. Ruiz Aused y C. S. Seibert de Yugnowski]), 245-95. Todas las referencias posteriores lo son a esta obra.

[10] Ibid., 246.

En el caso de la observación del remero, las leyes generales son la ley de la refracción y la ley de que el agua es ópticamente más densa que el aire. Las condiciones-antecedentes son que el remo está recto y que se encuentra sumergido en el agua con un ángulo determinado.

Hempel y Oppenheim hicieron la importante puntualización lógica de que los enunciados sobre fenómenos no pueden deducirse a partir de las leyes generales únicamente. Es necesario incluir una premisa acerca de las condiciones bajo las cuales ocurre el fenómeno. Las condiciones-antecedentes incluyen tanto las condiciones-límite bajo las cuales se piensa que es aplicable la ley como aquellas condiciones iniciales que se dan antes de —o al mismo tiempo que— el fenómeno a explicar. Por ejemplo, una explicación deductiva de la expansión de un globo calentado puede adoptar la siguiente forma:

$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}$	Ley de Gay-Lussac
$m, P = k$ Masa y presión son Constantes	Condiciones-límite
$T_2 = 2T_1$	Condiciones 'iniciales'
$\therefore V_2 = 2V_1$	

En el curso de su discusión del patrón deductivo de explicación, Hempel y Oppenheim se cuidaron de señalar que muchas explicaciones científicas *bona fide* no se ajustan a dicho patrón. Ese es el caso de muchas explicaciones basadas en leyes estadísticas [11]. He aquí un ejemplo presentado por Hempel en un ensayo posterior:

Un alto porcentaje de los pacientes con infecciones por estreptococos se recobran en un plazo de 24 horas tras haberles sido suministrada penicilina.
Jones padece una infección por estreptococos y se le ha suministrado penicilina.

Jones se recuperó de la infección por estreptococos en un plazo de 24 horas tras haberle sido suministrada penicilina [12].

Este argumento explicativo no tiene fuerza deductiva, sino que sus premisas proporcionan únicamente un fuerte apoyo inductivo a la conclusión [13].

---

[11] Ibid., 250-51.
[12] Hempel, *Aspects of Scientific Explanation*, 382.
[13] Se emplea la doble línea entre las premisas y la conclusión para indicar que la argumentación es inductiva.

De este modo, Hempel reconoció que la subsunción bajo leyes generales puede lograrse tanto deductiva como inductivamente. Sin embargo, y de forma consecuente, mantuvo que cualquier explicación científica legítima supone la subsunción deductiva o inductiva de un *explanandum* bajo leyes generales.

Generalizaciones nómicas frente a generalizaciones accidentales

Desde el punto de vista ortodoxo, toda auténtica explicación científica subsume su *explanandum* bajo leyes generales. Pero, ¿cómo podemos estar seguros, en un caso determinado, de que las premisas incluyen leyes? Aceptamos la siguiente argumentación como una explicación científica del resultado de una contrastación con una llama verde:

Todas las llamas afectadas por el bario son verdes.
Esta es una llama afectada por el bario.

∴ Esta llama es verde.

Pero negamos la capacidad explicativa a este otro argumento:

Todas las monedas que hay ahora en mi bolsillo contienen cobre.
Esta moneda está ahora en mi bolsillo.

∴ Esta moneda contiene cobre.

Los dos argumentos tienen la misma forma. Sin embargo, el primero subsume su *explanandum* bajo una ley *bona fide,* mientras que el segundo subsume su *explanandum* bajo una generalización «meramente accidental».

Los teóricos ortodoxos aceptan la posición de Hume sobre las leyes científicas. R. B. Braithwaite, por ejemplo, afirmaba:

> Estoy de acuerdo con la parte fundamental de la tesis de Hume, a saber, la afirmación de que los universales legiformes no son, objetivamente, más que universales de hecho y que en la naturaleza no hay ningún elemento adicional de conexión necesaria [14].

Braithwaite observó, no obstante, que existen dificultades en un análisis humeano de lo que es una ley. Una de esas dificultades

[14] R. B. Braithwaite, *Scientific Explanation* (Cambridge: Cambridge University Press, 1953 [ed. cast. *La explicación científica;* Madrid, Tecnos, 1965; trad. por V. Sánchez de Zavala]), 294.

estriba en que el análisis humeano borra la distinción entre universales legiformes y universales accidentales [15].

Supongamos que se ajustan dos relojes de péndulo similares para que estén desfasados 90°, de manera que los tic-tacs de ambos relojes estén en una constante conjunción secuencial. Si las leyes científicas no fueran *nada más que* enunciados de conjunciones constantes, entonces la siguiente argumentación constituiría una ley:

'Para todo *x*, si *x* es el tic-tac de un reloj #1, entonces al tic-tac *x* le sigue un tic-tac del reloj #2'.

Supongamos ahora que los péndulos de ambos relojes se detuvieran. ¿Respaldaría la ley al condicional contrafáctico 'si el reloj #1 fuese a hacer tic-tac, entonces a este tic-tac le seguiría un tic-tac del reloj #2'? Seguramente no.

Las «leyes científicas genuinas», por otra parte, sirven de apoyo a los condicionales contrafácticos. 'Todas las llamas afectadas por el bario son verdes' sirve de apoyo a la afirmación de que 'si esa llama estuviese afectada por el bario, entonces sería verde'.

Además, un buen número de las leyes científicas importantes no parece en absoluto recoger conjunciones constantes, puesto que se refieren a situaciones idealizadas inexistentes. La ley de los gases perfectos es una de estas leyes. Aun cuando no hay gases cuyas moléculas tengan una extensión cero y campos de fuerza intermoleculares nulos, en el caso de que hubiera un gas tal, su presión, su volumen y su temperatura estarían relacionadas como sigue:

$$\frac{PV}{T} = \text{constante}$$

Hay, pues, una diferencia *prima facie* entre los universales legiformes y los universales accidentales. Los universales legiformes sirven de apoyo a los condicionales contrafácticos, en tanto que los universales accidentales no. Ahora bien, ¿qué significa «servir de apoyo» dentro de este contexto?

De acuerdo con Braithwaite, este «apoyo» es el resultado de la relación deductiva existente entre el universal legiforme y generalizaciones de un nivel superior. Mantuvo que un condicional universal *h* es legiforme si *h*

[15] El propio Hume se mostraba inseguro a propósito de esta distinción. Véase el Capítulo 9, pp. 114-15.

aparece en un sistema deductivo dado como deducción a partir de hipótesis de un nivel superior, las cuales reciben apoyo de datos empíricos que no constituyen una evidencia directa en favor de *b* mismo [16].

La generalización acerca del color de la llama de bario es una consecuencia deductiva de los postulados de la teoría atómica. Y son muchos los datos que confirman estos postulados (con independencia de cuál sea el color de las llamas afectadas por el bario). No hay ninguna relación deductiva de este tipo en el caso de la generalización de los dos relojes.

Ernest Nagel suscribió asimismo una posición humeana en relación a las leyes científicas. Mantenía que se pueden distinguir las generalizaciones legiformes de las generalizaciones accidentales sin hacer referencia a categorías modales como «necesidad» y «posibilidad». Nagel enumeró cuatro características de los universales legiformes [17]:

1. Un universal no adquiere rango de ley sólo por ser vacuamente verdadero. Si no hay marcianos, entonces es verdadero que 'todos los marcianos son verdes'. Sin embargo, la verdad adquirida de esta manera no confiere rango de ley a un enunciado.
   Hay, por supuesto, leyes vacuamente verdaderas, pero su rango de ley viene determinado por su vinculación lógica con las restantes leyes de una teoría científica.
2. El ámbito de predicación de un universal legiforme no está en principio cerrado a una ulterior ampliación. Por el contrario, muchas veces se sabe que el ámbito de predicación de un universal accidental está cerrado: éste es el caso de 'todas las monedas que hay ahora en mi bolsillo contienen cobre'.
3. Los universales legiformes no restringen a determinadas regiones espaciales o temporales a aquellos individuos que satisfacen las condiciones-antecedentes y subsiguientes.
4. Los universales legiformes reciben a menudo un apoyo indirecto de los datos que sirven de apoyo de manera directa a otras leyes del mismo sistema científico deductivo. Por ejemplo, si las leyes L_1, L_2 y L_3 son derivables dentro de un sistema axiomático interpretado, los elementos de juicio que

---

16 Braithwaite, *Scientific Explanation*, 302.

17 Ernest Nagel, *The Structure of Science* (Nueva York: Harcourt, Brace & World, 1961 [ed. cast. *La estructura de la ciencia;* Buenos Aires, Paidós, 1962; trad. por N. Míguez]), 56-7.

apoyan directamente a L_2 y L_3 proporcionan entonces un apoyo indirecto a L_1. Así, dado que la ley de Boyle, la ley de Charles y la ley de difusión de Graham, son todas ellas consecuencias deductivas de la teoría cinética de los gases, la ley de Boyle se ve indirectamente confirmada por los datos que confirman la ley de Charles o la ley de Graham. Los universales accidentales, por el contrario, no reciben esta clase de confirmación indirecta.

La estructura de las teorías científicas

Los análisis de la estructura de las teorías científicas desarrollados en la posguerra se basaron en la distinción que hiciera Campbell entre un sistema axiomático y su aplicación a la experiencia [18]. Rudolf Carnap restauró la concepción «hipótesis-más-diccionario» de las teorías científicas en un influyente ensayo publicado en 1939 en la *International Encyclopedia of Unified Science* (Enciclopedia Internacional de la Ciencia Unificada). Mantuvo que

> toda teoría física, al igual que la física en su totalidad, puede... presentarse bajo la forma de un sistema interpretado, que consta de un cálculo específico (sistema axiomático) y de un sistema de reglas semánticas para su interpretación [19].

Philip Frank y Carl Hempel repitieron esta afirmación en ensayos aparecidos posteriormente en la misma enciclopedia [20].

La versión hempeliana de la concepción «hipótesis-más-diccionario» guarda alguna semejanza con las redes de seguridad utilizadas para la protección de los trapecistas. El sistema axiomático es una red sustentada desde abajo por mástiles anclados en el nivel observacional del lenguaje científico [21].

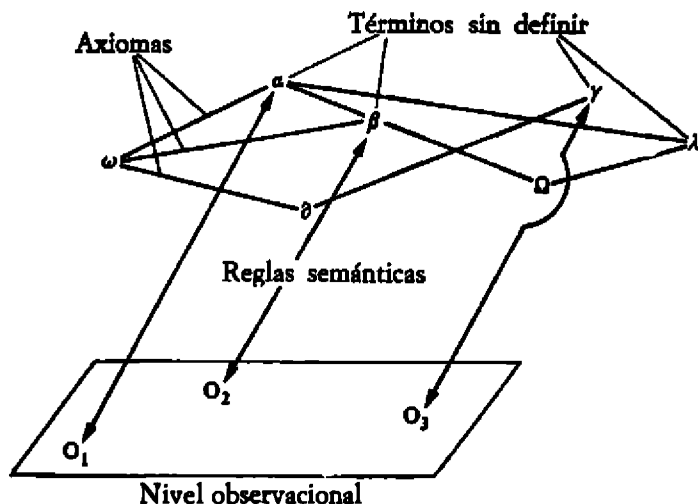
---

18 La concepción campbelliana de las teorías se ha tratado en las pp. 143-48.

19 Rudolf Carnap, «Foundations of Logic and Mathematics» (1939), en *International Encyclopedia of Unified Science, Vol. I, Parte I*, ed. por O. Neurath, R. Carnap y C. Morris (Chicago: University of Chicago Press, 1955), 202 [edición cast., *Fundamentos de lógica y matemáticas;* Madrid, Ed. Josefina Betancor, 1975 (trad. por M. de Mora Charles)].

20 Philipp Frank, «Foundations of Physics», en *International Encyclopedia of Unified Science, Vol. I, Parte II*, 429-30; Carl Hempel, «Fundamentals of Concept Formation in Empirical Science», en *International Encyclopedia of Unified Science, Vol. II*, núm. 7, 32-9.

21 Hempel, «Fundamentals of Concept Formation in Empirical Science», páginas 28-9.



La concepción hempeliana de las teorías como «redes de seguridad»

Siguiendo a Campbell, Hempel observó que no es necesario que cada uno de los nudos de la red tenga un punto de apoyo entre los enunciados del nivel observacional. Siendo esto así, surge naturalmente una pregunta: ¿en qué condiciones estará la red bien asegurada? ¿Cómo se puede saber si hay un número suficiente de lazos lo bastante resistentes entre la red y el plano de la observación? La relación de anclaje alcanza su máxima fuerza en el caso de las «teorías matemáticas», en las que a cada término del cálculo se le asigna una regla semántica. La geometría física es un ejemplo de esta clase de teorías. Cada uno de los términos del cálculo —'punto', 'línea', 'congruencia'...— se correlaciona con operaciones físicas. En el otro extremo, cabe imaginar una «teoría mecánica» [22] cuyo cálculo se relacione con las observaciones por medio de una sola regla semántica. ¿Sería empíricamente significativa una 'teoría' de este tipo?

Hempel sostenía que únicamente podría darse una respuesta satisfactoria a esta pregunta si se dispusiese de una adecuada teoría de la confirmación. Según Hempel, una adecuada teoría de la confirmación contendría tales reglas que, para todo teorema (T) y para todo enunciado del lenguaje observacional que diera cuenta de los

22 El contraste entre «teorías matemáticas» y «teorías mecánicas» ha sido subrayado por Campbell. Véanse las pp. 144-48.

hechos (E) dichas reglas confiriesen a *T* un determinado grado de confirmación con respecto a *E*. Una teoría a la que se aplicasen de este modo las reglas de confirmación podría calificarse de empíricamente significativa. Las reglas semánticas de esa teoría tendrían la fuerza suficiente para asegurar su cálculo. Sin embargo Hempel admitió que ninguna de las teorías de la confirmación disponibles en la fecha era adecuada para tal propósito [23]. En consecuencia, su propuesta (de 1952) para evaluar la adecuación de la intetpretación empírica de los cálculos mediante una teoría de la confirmación tenía el carácter de un programa para la investigación posterior.

A aquellos términos teóricos para los que no hay entradas en el diccionario se les supone a pesar de todo empíricamente significativos. R. B. Braithwaite afirmó que el significado empírico les era conferido de abajo a arriba, de los enunciados acerca de las observaciones a los axiomas [24]. En la teoría cuántica, por ejemplo, son los teoremas relativos a las densidades de carga del electrón, las distribuciones de dispersión, y similares, los que confieren significado empírico a la 'función'. Noretta Koertge destacó cómo, de acuerdo con la posición del reconstruccionismo lógico, el significado empírico se filtra hacia arriba *vía* «acción capilar» a partir del suelo del nivel observacional del lenguaje científico [25].

Cambio teórico: crecimiento por incorporación

Para la oposición ortodoxa, explicar un fenómeno consistía en mostrar que su descripción se sigue lógicamente (por lo general, deductivamente) de las leyes y de los enunciados relativos a las condiciones-antecedentes. De manera similar, explicar una ley es mostrar que se sigue lógicamente de otras leyes [26].

Al aplicarse a la historia de la ciencia, este interés por una reconstrucción lógica de la relación entre las leyes se reflejó en el hincapié hecho sobre el «crecimiento por incorporación». Ernest Nagel observó que

> el fenómeno de una teoría relativamente autónoma que va siendo absorbida por, o reducida a, alguna otra teoría más comprehensiva es un rasgo recurrente e innegable de la historia de la ciencia moderna [27].

---

[23] Hempel, «Fundamentals of Concept Formation in Empirical Science», 39.
[24] Braithwaite, *Scientific Explanation*, 51-2, 88-93.
[25] Noretta Koertge, «For and Against Method», *Brit. J. Phil. Sci.* 23 (1972), página 275.
[26] Nagel, *The Structure of Science*, 33-42.
[27] Ibid., 336-37.

Nagel distinguió dos clases de reducción. La primera de ellas es la reducción homogénea, en la cual una ley pasa a quedar incorporada en una teoría que utiliza «sustancialmente los mismos» conceptos que intervienen en la ley. Mantuvo que la «absorción» de la ley galileana de la caída de los graves por la mecánica newtoniana es una reducción de este tipo [28]. De acuerdo con Nagel, la ley de Galileo ha sido reducida a, y es explicada por, los principios de la mecánica newtoniana.

Una segunda, y más interesante, clase de reducción es la subsunción deductiva de una ley bajo una teoría que carece de algunos de los conceptos en los que la ley viene expresada. Con frecuencia la ley subsumida alude a propiedades macroscópicas de los objetos, mientras que la teoría reductora se refiere a la microestructura de los objetos. Un ejemplo al que Nagel prestó cierta atención es el de la reducción de la termodinámica clásica a la mecánica estadística [29]. En las leyes de la termodinámica clásica intervienen conceptos que no figuran entre los conceptos de la mecánica estadística, como —por ejemplo— «temperatura» y «entropía». Maxwell y Boltzmann lograron, a pesar de todo, deducir las leyes de la termodinámica clásica a partir de premisas que contenían leyes estadísticas acerca del movimiento molecular.

Al reflexionar sobre este típico caso de reducción heterogénea, Nagel trató de poner al descubierto las condiciones suficientes y necesarias para la reducción de una rama de la ciencia a otra. Advirtió que las condiciones para la reducción únicamente pueden formularse para ramas de la ciencia que hayan sido formalizadas. Un requisito para la formalización consiste en que los significados de los términos que intervienen en las teorías en cuestión vengan fijados por reglas de uso apropiadas para cada disciplina. Concediendo que sea éste el caso y que se hayan establecido las relaciones de dependencia lógica dentro de cada teoría, son necesarias las siguientes condiciones para la reducción de T_2 a T_1 [30]:

Condiciones formales para la reducción

I Conexión: para cada término que aparece en T_2, pero no así en T_1, hay un enunciado conector que liga al término con los términos teóricos de T_1.

---

[28] Ibid., 339.

[29] Nagel, *The Structure of Science*, 342-66; «The Meaning of Reduction in the Natural Sciences», en *Readings in Philosophy of Science*, ed. por P. Wiener (Nueva York: Charles Scribner's Sons, 1953), 535-45.

[30] Nagel, *The Structure of Science*, 345-66.

II Derivabilidad: las leyes experimentales de T_2 son consecuencias deductivas de los supuestos teóricos de T_1.

Condiciones no formales para la reducción

III Apoyo empírico: los supuestos teóricos de T_1 están apoyados por los datos con independencia de aquellos otros datos que sirvan de apoyo a T_2.

IV Fecundidad: los supuestos teóricos de T_1 sugieren ulteriores desarrollos de T_2.

Progreso por incorporación

El éxito de una reducción consiste en la incorporación. Una teoría es absorvida por otra teoría que tiene un ámbito más amplio. Esto sugiere que el progreso de la ciencia es en buena parte similar al despliegue de un juego de cajas chinas.

Niels Bohr defendió esta concepción del progreso científico en algunos ensayos escritos a partir de la década de los veinte. Sostuvo que la concepción de la caja china es una fecunda aplicación metodológica del Postulado de Correspondencia [31].

Aplicar el Principio de Correspondencia como criterio de aceptabilidad exige de todo candidato a la sustitución de una teoría *T* que

---

31 El Postulado de Correspondencia era un axioma de la teoría del átomo de hidrógeno de Bohr (1913). Para explicar el espectro del hidrógeno observado, Bohr sostuvo que el electrón de hidrógeno únicamente puede existir en ciertas órbitas estables, cuyos momentos angulares vienen dados por

$$m\ v\ r = \frac{n\ h}{2\pi},$$

donde m es la masa del electrón, v es su velocidad, r es el radio de su órbita, h es la constante de Planck y n es un entero positivo. El paso de una órbita estable a otra viene acompañado por la emisión o absorción de energía (v. g., el paso de $n = 3$ a $n = 2$ produce la primera línea espectral de la serie de Balmer). El Postulado de Correspondencia estipula que, en el límite en que n se aproxima al infinito y el electrón ya no esté vinculado al núcleo, dicho electrón obedece las leyes de la electrodinámica.

Estimulado por el éxito de su teoría del átomo de hidrógeno, Bohr sostuvo que una versión generalizada del Postulado de Correspondencia puede servir como criterio para la aceptación de las teorías de la mecánica cuántica. Según Bohr, cualquiera que sea la forma de una teoría del dominio cuántico, debe presentar un acuerdo asintótico con la electrodinámica clásica en el ámbito en el que la teoría clásica se ha mostrado aceptable. Véase Niels Bohr, «Atomic Theory and Mechanics» (1925), en *Atomic Theory and The Description of Nature* (Cambridge: Cambridge University Press, 1961), 35-9.

1) la nueva teoría tenga un mayor contenido contrastable que el de T, y

2) la nueva teoría guarde un acuerdo asintótico con T en el ámbito en el que T está bien confirmada.

Joseph Agassi ha expresado de la manera siguiente esta extensión metodológica del Postulado de Correspondencia:

> a cada nueva teoría que se proponga pueden planteársele dos reconocidas exigencias metodológicas: deberá admitir como consecuencia o primera aproximación, a la vez que como caso especial, a la teoría q e va a sustituir. La primera exigencia no eq ivale sino al r uisito de que la nueva teoría explique el éxito obtenido por la teoría que le precede. La segunda exigencia equivale al requisito de q e la nueva teoría sea más general y contrastable de manera independiente[32].

---

[32] Joseph Agassi, «Between Micro and Macro», *Brit. J. Phil. Sci. 14* (1963), página 26.

Capítulo 13
EL ATAQUE A LA ORTODOXIA

PAUL FEYERABEND (1924-) se doctoró en la Universidad de Viena y ha enseñado en la Universidad de California. «Anarquista» declarado, se opone a la búsqueda de reglas del cambio teórico y a las «reconstrucciones racionales» del progreso científico. Feyerabend mantiene que «todo vale» y que la proliferación de teorías constituye la huella de la creatividad en la ciencia. Consecuente con esta orientación, su obra principal lleva por título *Against Method* (Contra el método) (1975).

NELSON GOODMAN (1906-) es doctor por la Universidad de Harvard y ha enseñado en las Universidades de Pennsylvania, Brandeis y Harvard. Ha hecho importantes contribuciones a la lógica inductiva, la epistemología y la filosofía del arte. Es autor de *The Structure of Appearance* (La estructura de la apariencia) (1951), *Fact, Fiction, and Forecast* (Hecho, ficción y predicción) (1955) y *Languages of Art* (Los lenguajes del arte) (1968).

STEPHEN TOULMIN (1922-) se doctoró en Oxford y ha enseñado en las Universidades de Leeds, Michigan State, Chicago y California. Ha escrito extensamente sobre cuestiones de historia y filosofía de la ciencia, epistemología y ética. En sus trabajos más recientes ha esbozado una reconstrucción del desarrollo de la ciencia mediante categorías tomadas de la teoría de la evolución orgánica.

La concepción de la ciencia del reconstruccionismo lógico se vio progresivamente atacada durante los últimos años cincuenta y toda la década de los sesenta. Las críticas apuntaron a la distinción entre el nivel teórico y el nivel observacional, el modelo de explicación de cobertura legal, la imagen de las teorías como redes de seguridad,

el principio de confirmación mediante casos y la concepción del progreso científico al modo de una caja cbina.

¿Hay un lenguaje observacional independiente de la teoría?

Dentro de la filosofía de la ciencia del reconstruccionismo lógico es fundamental la afirmación acerca de la independencia de los informes observacionales con respecto a la teoría. Los teóricos ortodoxos suponían que la verdad o falsedad de los informes observacionales podía decidirse directamente sin necesidad de apelar a oraciones del nivel teórico. La posición ortodoxa mantenía que las oraciones del nivel observacional, que eran independientes de la teoría, suministraban contrastaciones *bona fide* de las teorías. La posición ortodoxa afirmaba también que las oraciones del nivel teórico reciben significado empírico de las oraciones del nivel observacional. De este modo, el nivel teórico es un parásito del nivel observacional.

Paul Feyerabend sostuvo que la dependencia había sido mal concebida. Son los informes observacionales quienes parasitan sobre las teorías. Feyerabend llamó la atención sobre la dependencia teórica de los informes observacionales por medio del siguiente ejemplo [1]. Sea L_0 un lenguaje en el que se asignan colores a los objetos fosforescentes y supongamos que L_0 contiene los nombres a, b, c... y los predicados cromáticos P_1, P_2, P_3... Supongamos también que los usuarios de este lenguaje entienden que los términos P_i designan propiedades poseídas por los objetos, sean o no observados.

Supongamos ahora que un científico afirma que los colores registrados por un observador dependen de la velocidad relativa de éste y de la fuente. Aceptar esta teoría supone variar la interpretación de las oraciones de L_0. Ahora '*a* es P_i' ya no asigna una propiedad al objeto nombrado, sino que establece una *relación* entre el objeto y el observador, relación que depende de su velocidad relativa. De acuerdo con esta nueva interpretación, no tiene sentido hablar de las propiedades cromáticas de objetos no observados. Feyerabend llegó a la conclusión de que

> la interpretación de un lenguaje observacional viene determinada por las teorías que empleemos para explicar lo que observamos, y cambia tan pronto cambian las teorías [2].

---

[1] Paul K. Feyerabend, «An Attempt at a Realistic Interpretation of Experience», *Proc. Arist. Soc. 58* (1958), 160-62.

[2] Ibid., 164.

Una consecuencia de la tesis de Feyerabend es que la distinción término observacional-término teórico depende del contexto. Peter Achinstein proporcionó un apoyo adicional a esta consecuencia.

Achinstein examinó las formas que adoptaba en la práctica la distinción observable-no observable. En ocasiones aceptamos como un caso de «observación de X» la observación de algún Y que habitualmente acompaña a X. Es en este sentido de 'observar' en el que un guardabosque observa un fuego al divisar una nube de humo blanco. Y en el que un físico observa el paso de un electrón a través de una cámara de niebla siguiendo una estela curvilínea de color blanco. De igual manera aceptamos como un caso de «observación de X» la observación de una imagen de X producida por un espejo o una lente. Supongamos que queremos observar el corte de un tejido muscular. Podemos examinar sucesivamente el tejido a simple vista, mediante un microscopio, mediante un microscopio tras haber sido teñido y preparado, y mediante un microscopio electrónico. ¿«Observamos» el tejido en todo momento o existe un punto en esta secuencia en el que hemos dejado de observarlo? Achinstein subrayó cómo nuestra distinción entre lo «observable» y lo «no observable» depende del objetivo de la misma [3].

La distinción «observable-inobservable» depende del contexto. La respuesta adecuada a la pregunta '¿es X observable?' consiste en pedirle a quien pregunta que especifique el tipo de distinción que tiene en mente. Dado que 'X' se emplea en determinados contextos, ¿qué otros términos —'A', 'B', 'C'...— considera 'inobservables' el interrogador? Sólo ante dicha información podrá hacerse una comparación. Considérese el término 'virus-teñido-y-visto-por-un-microscopio-electrónico' (*t*). Se podría calificar de «inobservable» a éste término por relación al término 'diamante-visto-por-un-microscopio-electrónico', puesto que lo «observado» en el primer caso no es el virus mismo sino las densas moléculas a él agregadas durante el proceso de tinción. Pero se puede calificar a (*t*) de observable por relación al término 'virus-teñido-y-visto-por-difracción-de-rayos-X', dado que la imagen del microscopio electrónico guarda un parecido con el virus que no posee el patrón de la difracción de los rayos-X [4].

Willard van Orman Quine planteó nuevas dificultades a la distinción entre términos teóricos y términos observacionales. Quine reiteró y desarrolló una tesis que había sido sugerida por Pierre Du-

[3] Peter Achinstein, *Concepts of Science* (Baltimore: The Johns Hopkins Press, 1968), 160-72.

[4] Ibid., 168.

hem[5]. La versión de Quine de la tesis de Duhem es que 'nuestros enunciados acerca del mundo externo se enfrentan al tribunal de la experiencia sensible no de una manera individual, sino como un cuerpo colectivo'[6]. Quine llamó la atención sobre las siguientes consecuencias de la tesis de Duhem:

1. Es erróneo hablar del «contenido empírico» de un enunciado individual;
2. todo enunciado puede tenerse por verdadero siempre que se lleven a cabo reajustes suficientemente drásticos en otra parte del sistema; y
3. no hay una línea divisoria precisa entre los enunciados sintéticos, cuya verdad (o falsedad) está en función de los elementos de juicio de carácter empírico, y los enunciados analíticos, cuya verdad (o falsedad) es independiente de cualquier evidencia empírica[7].

Si la tesis de Duhem-Quine es correcta, entonces la concepción ortodoxa de las teorías científicas resulta insostenible. De acuerdo, por ejemplo, con la imagen de la «red de seguridad»[8], el sistema axiomático y las reglas de correspondencia se pueden reformular de diversos modos siempre que la red así creada se soporte por medio de mástiles tendidos desde el nivel observacional del lenguaje científico. En la interpretación de la «red de seguridad» son los informes observacionales los que sostienen los mástiles. La posición ortodoxa mantenía que el valor de verdad de un informe observacional es independiente del valor de verdad de los enunciados del sistema axiomático interpretado. Para seguir con la metáfora, los puntos de apoyo están allí inicialmente y la tarea del teórico consiste en asegurarse de que los mástiles están directamente colocados sobre ellos.

Pero si Feyerabend y Quine están en lo cierto, los puntos de apoyo de una teoría los crea la propia teoría. Los informes observacionales no tienen un carácter independiente del contexto teórico en el que aparecen.

---

[5] Pierre Duhem, *The Aim and Structure of Physical Theory* (Nueva York: Atheneum, 1962), 180-218.

[6] Willard van Orman Quine, «Two Dogmas of Empiricism», en *From a Logical Point of View* (Cambridge: Harvard University Press, 1953 [ed. cast. *Desde un punto de vista lógico;* Barcelona, Ariel, 1962; trad. por Manuel Sacristán]), 41.

[7] Ibid., 43.

[8] Véase más arriba, pp. 193-94.

Dudas acerca del modelo de explicación de cobertura legal

Una de las piedras angulares de la ortodoxia de posguerra era que la explicación científica consiste en la subsunción del explanandum bajo leyes generales. La tesis de la cobertura legal fue puesta en cuestión por Michael Scriven en una serie de artículos que datan de 1959 [9].

Scriven sostenía que la subsunción bajo leyes generales *no* es una condición necesaria de la explicación científica. Observó que las explicaciones deductivas de acontecimientos adoptan frecuentemente la forma 'q porque p'. Un ejemplo del propio Scriven es: «el puente se derrumbó porque explotó una bomba en sus proximidades». Scriven concedió que si se cuestionaba esta explicación, la defensa adecuada habría de consistir en apelar a las leyes que correlacionen la fuerza explosiva, la distancia y las propiedades de la tensión de los materiales. Sin embargo, las leyes relevantes no tienen por qué consignarse explícitamente como premisas de la explicación.

Hempel insistió en el hecho de que seleccionar un conjunto determinado de condiciones-antecedentes como la causa de un efecto particular presupone ya la aplicabilidad de la cobertura legal. Sostenía que cuando se dice 'q porque p' se está afirmando que las condiciones-antecedentes del tipo descrito por 'p' producen por lo regular efectos del tipo descrito por 'q'. Es esta supuesta regularidad la que hace que 'q porque p' deje de ser una mera secuencia narrativa para erigirse en explicación únicamente si se dan unas leyes subsuntoras que, en conjunción con 'p' (y quizá con otras condiciones-antecedentes tácitamente asumidas), impliquen 'q' [10].

Hempel realizó de esta manera una sólida defensa de la tesis de que la subsunción bajo leyes generales es una condición necesaria de la explicación científica. Pero la subsunción bajo leyes generales, ¿es también una condición suficiente de la explicación científica? Podría parecer que una respuesta afirmativa nos comprometería con un grotesco deductivismo (grotesco porque una vez que se haya subsumido un acontecimiento bajo una generalización resultaría ocioso buscar otras premisas explicativas). Para explicar una llama verde, pongamos por caso, bastaría con apelar a premisas que contengan la

---

[9] Michael Scriven, «Truisms as the Grounds for Historical Explanation», en *Theories of History*, ed. por P. Gardiner (Glencoe, Ill.: The Free Press, 1959), 443-75; «Explanation and Prediction in Evolutionary Theory», *Science 130*, páginas 477-82; «Explanations, Predictions and Laws», en *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, Vol. III, ed. por H. Feigl y G. Maxwell (Minneapolis: University of Minnesota Press, 1962), 170-230.

[10] Carl Hempel, *Aspects of Scientific Explanation*, 362.

correlación del color verde con la presencia de bario. No habría razón alguna para buscar explicaciones «más profundas» en términos de la teoría atómica.

Algunos de los críticos del modelo de explicación de cobertura legal acusaron a Hempel de sostener que la subsunción bajo leyes generales *es* una condición suficiente de la explicación científica [11]. Pero Hempel no defiende esta posición; de hecho, llamó la atención sobre el siguiente ejemplo propuesto por S. Bromberger:

Leyes	Los teoremas de la geometría física.
Condiciones antecedentes	El mástil *M* está colocado verticalmente con respecto al suelo y forma un ángulo de 45° cuando se le contempla a ras de tierra a una distancia de 80 pies.
∴ Fenómeno	El mástil *M* tiene 80 pies de altura.

Hempel admitió que las premisas de esta argumentación no explican por qué tiene el mástil 80 pies de altura [12]. No se obtiene una explicación científica formulando simplemente una argumentación deductiva válida cuyas premisas contengan leyes generales.

Una concepción no enunciativa de las teorías

Para la posición ortodoxa, una teoría es un conjunto de oraciones. Algunos críticos se opusieron a esta concepción. Frederick Suppe, por ejemplo, propuso una «concepción no enunciativa» de las teorías [13]. Para la «concepción no enunciativa», una «teoría» se asemeja más bien a una proposición. Considérense las oraciones.

---

[11] Entre los críticos se contaban William Dray (*Laws and Explanation in History* [Oxford: Clarendon Press, 1957], 58-60); Michael Scriven («Explanations, Predictions and Laws», 207-8); y Richard Zaffron («Identity, Subsumption, and Scientific Explanation», *J. Phil. 68* (1971), 849-50). Rom Harré (*The Principles of Scientific Thinking*, 15-21) atacó la 'mitología del deductivismo' sin acusar específicamente a Hempel de mantener la tesis de la condición suficiente.

[12] Hempel, «Deductive-Nomological vs. Statistical Explanations», en *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, Vol. III, 109-10.

[13] Frederick Suppe, «The Search for Philosophic Understanding of Scientific Theories», en *The Structure of Scientific T eories*, ed. por F. Suppe (Urbana: University of Illinois Press, 1974 [ed. cast., *La estructura de las teorías científicas;* Madrid, Editora Nacional, 1979; trad. por Pilar Castrillo y Eloy Rada]), 221-230.

1) John ama a Mary.
2) Mary es amada por John.

Algunos lógicos sostendrían que, aunque las dos oraciones son diferentes, constituyen la expresión de una única proposición [14]. Una relación similar cabe establecer entre las formulaciones alternativas de la teoría cuántica y la propia teoría cuántica. Von Neumann ha mostrado que la mecánica ondulatoria de Schrödinger y la mecánica de las matrices de Heisenberg son equivalentes [15]. Parecería como si la teoría cuántica viniera «expresada» por cada una de estas formulaciones de la misma manera que la «proposición» o el «significado» de la relación John-Mary viene «expresado» por cada una de las oraciones antes citadas.

Suppe sugirió que una generalización del resultado de Von Neumann proporciona una fecunda reinterpretación de la naturaleza de las teorías científicas. De acuerdo con esta reinterpretación, una teoría es una entidad no lingüística que se relaciona con —pero es diferente de— un conjunto de formulaciones lingüísticas. Una teoría tiene un «ámbito de aplicación», una clase de fenómenos que ha de explicar. Sin embargo, la teoría no describe directamente los fenómenos; más bien se refiere a una copia, a un sistema físico idealizado. Los estados de este sistema idealizado vienen determinados por los valores de los parámetros de la teoría. Las formulaciones de la teoría hacen afirmaciones contrafácticas de la forma «si el fenómeno estuviese completamente caracterizado por los parámetros de la teoría, entonces...».

Así, pues, ¿qué es lo que explican las teorías? El reconstruccionismo lógico sostiene que las teorías explican leyes experimentales, y lo hacen por medio de argumentos deductivos en los que las leyes son las conclusiones. La ley de Boyle, por ejemplo, puede explicarse mediante la formulación de un argumento deductivo cuyas premisas contengan los axiomas y las reglas de correspondencia de la teoría cinética de los gases. Los teóricos ortodoxos se hicieron así eco de la afirmación de Pierre Duhem de que una teoría explica las leyes incorporándolas en un sistema deductivo. Duhem ha insistido en el hecho de que si una teoría explica se debe a que contiene leyes y no a que refleje alguna «realidad» subyacente a los fenómenos [16].

---

[14] Un tratamiento de la distinción oración-proposición puede verse en S. Gorovitz y R. G. Williams, *Philosophical Analysis* (Nueva York: Random House, 1963), Capítulo IV.

[15] Suppe, «The Search for Philosophic Understanding of Scientific Theories», 222.

[16] Duhem, *The Aim and Structure of Physical Theory*, 32.

Wilfrid Sellars se lamentaba del error consistente en identificar de esta forma explicación e implicación. Sellars mantenía que lo que una teoría explica es por qué obedecen los fenómenos a determinadas leyes experimentales en el grado en que lo hacen. La teoría cinética, por ejemplo, explica por qué un gas sometido a una presión moderada obedece a la ley $\frac{PV}{T} = k$. Un gas sometido a una presión moderada se comporta *como si* fuera un «gas perfecto», cuyos parámetros son especificados por la teoría. Sellars señalaba que,

> dicho toscamente, el hecho de que un gas obedezca a la ley de Boyle-Charles se debe a que 'es' —en alguno de los sentidos de 'es'— una nube de moléculas que se compo ta de una forma teóricamente determinada[17].

Sellars señaló cómo la teoría cinética explica también por qué el comportamiento de un gas se separa de $\frac{PV}{T} = k$ bajo grandes presiones. Un «gas perfecto» es un conjunto de masas puntuales en el que no existen fuerzas entre las partículas. Ninguno de los gases reales puede estar constituido de esta forma. Y la «réplica idealizada» deviene una aproximación cada vez inadecuada cuando la presión de un gas aumenta.

El «nuevo enigma de la inducción» de Goodman

En un importante trabajo publicado en 1953, Nelson Goodman señaló una notable dificultad de la teoría de la confirmación[18]. Esta dificultad es que ninguna generalización está apoyada por los casos que le son favorables. Goodman observó cómo el hecho de que una generalización esté o no apoyada por sus casos depende de la naturaleza de los términos de propiedades que aparezcan en la generalización. Comparó estas dos generalizaciones:

1) Todas las esmeraldas son verdes.
2) Todas las esmeraldas son verdules.

---

[17] Wilfrid Sellars, «The Language of Theories», en *Current Issues in the Philosophy of Science*, ed. por H. Feigl y G. Maxwell (Nueva York: Holt, Rinehart and Winston, 1961), 71-2; recogido en *Readings in the Philosophy of Science*, ed. por B. A. Brody, 348.

[18] Nelson Goodman, *Fact, Fiction and Forecast* (Segunda edición, Indianapolis: The Bobbs-Merril Company, Inc., 1965).

donde '*x* es verdul' si, y sólo si,

> '*x* es examinada antes del momento *t* y es verde,
> o *x* no es examinada antes del momento *t* y es azul' [19].

Aquellos casos en que las esmeraldas se examinan antes de *t* y resultan ser verdes probablemente servirán de apoyo tanto a 2) como a 1), lo cual es inquietante. Supongamos que *t* es cualquier momento del día de hoy. ¿Qué generalización emplearemos para predecir el color de las esmeraldas que puedan descubrirse mañana? Si confiamos exclusivamente en el número de casos positivos que se hayan mostrado de acuerdo con la generalización antes de *t*, no tendremos base alguna para preferir 1) a 2).

Creemos que 1) es una generalización legiforme y que 2) no lo es. Goodman apuntó que 2) es una generalización accidental del mismo tipo que

3) Todos los hombres que hay ahora en esta habitación son hijos terceros.

Según Goodman, el hecho de que uno de los hombres que está ahora en esta habitación sea hijo tercero no sirve de apoyo a la afirmación de que otro de los hombres que hay ahora en esta habitación es también hijo tercero. La situación es diferente en el caso de las generalizaciones «genuinas» o «legiformes». Así, la evidencia de que un cubito de hielo flota en el agua sirve de apoyo a la afirmación de que otro cubito de hielo también flotará. Goodman sostuvo que la generalización sobre la «verdulidad» de las esmeraldas se asemeja a la generalización «accidental» acerca de los hijos terceros desde el punto de vista de la relación con sus casos. Llamó la atención sobre la tarea de especificar criterios para distinguir aquellas generalizaciones que reciben apoyo de sus casos positivos y aquellas otras en que no ocurre así.

Una posibilidad podría consistir en subdividir los predicados en aquellos que implican una referencia espacial o temporal y aquellos que no lo hacen. Las generalizaciones legiformes podrían restringirse entonces a las generalizaciones cuyos términos no-lógicos carezcan de referencias espaciales o temporales. Probablemente quedarían así excluidas las generalizaciones sobre las esmeraldas verdules y los hombres que hay ahora en esta habitación.

Goodman rechazó este enfoque y señaló cómo el enigma de las esmeraldas puede volver a plantearse aun cuando no se utilicen predicados con referencia temporal [20]. Sobre la base de la existencia de

---

19 Ibid., 74.
20 Ibid., 78-80.

un conjunto finito de individuos *n*, que han sido examinados y han resultado ser esmeraldas verdes, se puede definir el predicado «verdul» con respecto a este conjunto de individuos:

> '*x* es verdul' si, y sólo si,
> '*x* es igual a (a v b v c v... n) y es verde,
> o *x* no es igual a (a v b v c v... n) y es azul'.

De acuerdo con esta definición de «verdul», sigue siendo cierto que todo individuo que constituya un caso positivo de la generalización '1)' es asimismo un caso positivo de la generalización '2)'[21].

Goodman mantenía que el modo de superar las dificultades inherentes a predicados como 'verdul' y 'hombres que están ahora en esta habitación' consiste en adoptar un enfoque pragmático-histórico. Habría que empezar por indicar el modo como se han usado con anterioridad los predicados y utilizar este historial de su trayectoria para clasificarlos. Algunos predicados han intervenido en generalizaciones que se han revelado afortunadas en la explicación de nuevos casos. Goodman calificó a tales términos de «predicados reforzados»[22]. 'Verde', por ejemplo, es un predicado reforzado, puesto que generalizaciones como 'todas las esmeraldas son verdes' y 'todos los compuestos de bario arden con una llama verde' se han proyectado sobre otros casos. 'Verdul', por el contrario, no es un predicado reforzado puesto que no ha intervenido en generalizaciones proyectadas con éxito. Por supuesto podría haberlo hecho, pero lo que cuenta es su uso real y las biografías de 'verdul' y 'verde' son completamente diferentes.

Si Goodman está en lo cierto, el rango de ley es una cuestión de proyección, siendo ésta una función del refuerzo comparativo de los predicados, viniendo determinado el propio refuerzo por su uso anterior. Uno de los efectos del tratamiento del «nuevo enigma de la inducción» por parte de Goodman consistió en «degradar» un problema filosófico al rango del problema histórico. Claro está que sigue siendo el filósofo de la ciencia quien ha de especificar el criterio de proyección, pero desde el momento en que éste se refiere al refuerzo de los predicados, el cual se determina por medio del examen de la biografía de los predicados, el trabajo realmente importante es el que realiza el historiador de la ciencia.

---

21 Otra dificultad inherente a este enfoque es que algunas de las generalizaciones que los científicos llaman 'leyes' contienen términos con referencia espacial o temporal. Un ejemplo es la primera ley de Kepler, que relaciona las órbitas elípticas de los planetas con la posición del Sol.

22 Nelson Goodman, *Fact, Fiction and Forecast*, 94.

Un segundo efecto del tratamiento goodmaniano consistió en socavar la tesis ortodoxa de que la confirmación es una relación entre oraciones de carácter exclusivamente lógico. En una posdata (1964) a su ensayo de 1945, Hempel admitió que

> la búsqueda de criterios puramente sintácticos de confirmación cualitativa o cuantitativa presupone que las hipótesis en cuestión están formuladas en términos que permiten la proyección; y tales términos no se pueden escoger exclusivamente en base a procedimientos sintácticos [23].

Dudas acerca de la concepción del progreso científico como una caja china

La tesis de la inconmensurabilidad de Feyerabend

Feyerabend sostuvo que ni siquiera los ejemplos tradicionales de «reducción» que venían discutiendo los teóricos ortodoxos satisfacían sus propios requisitos para la reducción. Uno de esos ejemplos es la supuesta reducción de la física galileana a la física newtoniana. Feyerabend señaló que la condición de derivabilidad de Nagel no se satisface en este caso. Una ley fundamental de la física galileana es que la aceleración vertical de los cuerpos que caen es constante para cualquier intervalo vertical finito en las proximidades de la superficie terrestre. Ahora bien, esta ley no se puede deducir de las leyes de la física newtoniana. En la física newtoniana, la fuerza de atracción gravitatoria —y, por lo tanto, la aceleración mutua— de dos cuerpos aumenta a medida que disminuye la distancia. La ley galileana podría derivarse de las leyes newtonianas únicamente si la razón $\frac{\text{distancia de caída}}{\text{radio de la Tierra}}$ fuese cero. Pero en los casos de caída libre esta razón no es nunca igual a cero. La relación galileana no se sigue lógicamente de las leyes de la mecánica newtoniana [24].

Un segundo ejemplo es la supuesta «reducción» de la mecánica newtoniana a la teoría general de la relatividad. Feyerabend admitió que bajo ciertas condiciones restrictivas las ecuaciones de la teoría de la relatividad arrojaban valores que se aproximan a aquellos otros calculados en base a la mecánica newtoniana; pero esto no basta

---

[23] Carl Hempel, «Postscript on Confirmation» (1964), en *Aspects of Scientific Explanation*, 51.

[24] P. K. Feyerabend, «Explanation, Reduction, and Empiricism», en *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, Vol. III, 46-8.

para establecer la reducción de la mecánica newtoniana a la teoría general de la relatividad. Es la condición de conexión la que no se satisface en este caso. Considérese el concepto «longitud». En la mecánica newtoniana la longitud es una relación independiente de la velocidad de la señal, los campos gravitatorios y el movimiento del observador. En la teoría de la relatividad la longitud es una relación cuyo valor *depende* de la velocidad de la señal, los campos gravitatorios y el movimiento del observador. El paso de la mecánica newtoniana a la teoría de la relatividad conlleva un cambio de significado en los conceptos espacio-temporales. La «longitud clásica» y la «longitud relativista» son nociones inconmensurables [25], y la mecánica newtoniana no es reductible a la teoría general de la relatividad. Feyerabend mantuvo asimismo que la mecánica clásica no se puede reducir a la mecánica cuántica [26] ni la termodinámica clásica a la mecánica estadística [27].

Hilary Putnam sugirió la posibilidad de proteger la teoría de la reducción de Nagel frente a las críticas de Feyerabend por medio de una pequeña modificación: únicamente necesitamos suponer que se trata de una aproximación idónea de la vieja teoría la que es deductible de la nueva [28].

Feyerabend repuso que el interés originario de la reducción había estribado en la relación entre diversas teorías científicas reales [29] y señaló cómo Putnam había salvado la teoría de la reducción sólo a expensas de hacerla inaplicable en los casos reales de cambio teórico.

Feyerabend pretendió haber mostrado que los ejemplos de reducción invocados por los teóricos ortodoxos no satisfacían sus propias condiciones para la reducción. El cambio teórico a alto nivel implica más bien cambios en el significado de los términos descriptivos que

---

[25] P. K. Feyerabend, «On the 'Meaning' of Scientific Terms», *J. Phil.* 62 (1965), 267-71; «Consolations for the Specialist», en *Criticism and the Growth of Knowledge,* ed. por I. Lakatos y A. Musgrave (Cambridge: Cambridge University Press, 1970 [ed. cast. *La crítica y el desarrollo del conocimiento;* Barcelona, Grijalbo, 1975; trad. por Francisco Hernán]), 220-21; «Against Method: Outline of an Anarchistic Theory of Knowledge», en *Minnesota Studies in the Philosophy of Science,* Vol. IV, ed. por M. Radner y S. Winokur (Minneapolis: University of Minnesota Press, 1970 [ed. cast. *Contra el método: Esquema de una teoría anarquista del conocimiento;* Barcelona, Ariel, 1974; trad. por Francisco Hernán]), 84.

[26] Feyerabend, «On the 'Meaning' of Scientific Terms», 271-72.

[27] Feyerabend, «Explanation, Reduction, and Empiricism», 76-81.

[28] Hilary Putnam, «How Not to Talk About Meaning', en *Boston Studies in the Philosophy of Science,* Vol. II, ed. por R. Cohen y M. Wartofsky (Nueva York: Humanities Press, 1965), 206-7.

[29] Feyerabend, «Reply to Criticism: Comments on Smart, Sellars and Putnam», en *Boston Studies,* II, 229-30.

intervienen en ambas teorías. La nueva teoría reinterpreta el vocabulario descriptivo que venía utilizándose con anterioridad. Pero los informes observacionales que dependen de esta forma de la teoría no pueden servir de base objetiva para la evaluación de teorías en competencia. Feyerabend llegó a la conclusión de que las teorías de alto nivel son observacionalmente inconmensurables [30].

¿Crecimiento por incorporación o derrocamiento revolucionario?

William Whewell había comparado el crecimiento de la ciencia con la formación de un río mediante la confluencia de afluentes [31]. La imagen del río y los afluentes es coherente con la concepción del progreso por incorporación a modo de cajas chinas y el interés filosófico concomitante por el problema de la reducción. La imagen del río y los afluentes es también coherente con el uso del Principio de Correspondencia de Bohr como una guía metodológica para la formación de teorías [32].

Aquellos que en la posguerra criticaron esta visión se lamentaban de que la imagen del río y los afluentes sobrepusiera una falsa continuidad a la historia de la ciencia. La ciencia no se desarrolla de manera uniforme. Las teorías no fluyen una tras otra. La norma es más bien la competencia, y la sustitución de una teoría por otra se produce a menudo por un derrocamiento revolucionario.

Stephen Toulmin señaló que la sustitución de una teoría comprehensiva por otra viene frecuentemente acompañada por drásticos cambios conceptuales [33]. Los cambios más importantes de la historia de la ciencia han sido los sobrevenidos a los «ideales del orden natural». Los ideales del orden natural son los patrones de regularidad que

> nos permiten distinguir aquellos sucesos del mundo circundante que requieren ser explicados por contraste con 'el curso natural de los acontecimientos' (esto es, aquellos otros acontecimientos que no lo requieren) [34].

La primera ley de Newton es uno de estos ideales. Establece que el movimiento uniforme en línea recta es un movimiento inercial y que tan sólo requieren explicación los cambios en dicho movimien-

---

30 Feyerabend, «Explanation, Reduction, and Empiricism», 59.

31 Véase el Capítulo 9, pp. 128-37.

32 Véase más arriba, pp. 197-98.

33 Stephen Toulmin, *Foresight and Understanding* (Nueva York: Harper Torchbooks, 1961), 44-82.

34 Ibid., 79.

to. El ideal newtoniano del orden natural desplazó al correspondiente ideal aristotélico. Aristóteles había adoptado como caso paradigmático del movimiento local el desplazamiento de un cuerpo sobre una superficie que le opone resistencia. La velocidad alcanzada por ese cuerpo depende de la razón entre la fuerza ejercida y la resistencia ofrecida. La propia presencia de un movimiento indica que se ha aplicado una fuerza. En el ideal aristotélico del orden natural es el movimiento mismo el que necesita ser explicado y no sólo los cambios de movimiento. Hay un conflicto entre ambos ideales y el triunfo del ideal newtoniano constituye un rechazo —y no una incorporación— del ideal aristotélico.

Toulmin señaló que

> para que una explicación sea aceptable debe demostrar que los hechos que se investigan son casos especiale o combinacione compleja de nuestros tipos fundamentales de inteligibilidad [35].

Si un tipo de fenómenos se resiste a nuestros más serios intentos de aplicar nuestros principios de inteligibilidad, entonces ha de considerársele como una anomalía. En el caso del ideal aristotélico que se acaba de mencionar, el movimiento de los proyectiles era una anomalía. En el ideal aristotélico, el hecho de que una jabalina continúe moviéndose después de haber sido soltada por el lanzador requiere una explicación, puesto que la jabalina llevada por el aire no parece estar sujeta a fuerza alguna. Aristóteles sugirió, no sin dudas, que el aire que en cada momento es contiguo al proyectil le transmite una propensión a continuar su movimiento [36]. No es necesario decir que los filósofos de la naturaleza aristotélicos no quedaban tranquilos con explicaciones de este tipo. Toulmin mantuvo que es el reconocimiento de anomalías lo que conduce a la creación de nuevos ideales del orden natural.

Dada una competencia entre ideales del orden natural, es el «mejor dotado» el que sobrevive, consistiendo este «estar mejor dotado» en una cuestión de integración conceptual y fecundidad. Y, puesto que lo que está en juego en tal conflicto es la adecuación de una innovación conceptual, el conflicto no se puede resolver apelando a algún «cálculo de la evidencia». Toulmin sostuvo que el programa del reconstruccionismo lógico en pos de una lógica de la confirmación tiene un valor limitado, puesto que dicha lógica resulta inaplicable a aquellos importantes conflictos en los que están en juego los propios patrones de inteligibilidad [37].

---

35 Ibid., 81.
36 Aristóteles, *Física*, VII, 267a.
37 Toulmin, *Foresight and Understanding*, 112.

N. R. Hanson sugirió que una revolución conceptual en la ciencia es análoga a un cambio de *Gestalt* en el que los hechos relevantes pasan a considerarse de una manera diferente [38]. Siguiendo a Wittgenstein [39], Hanson distinguió entre 'ver que' y 'ver como'. Hanson subrayó que este 'ver como' —el sentido gestáltico de ver— ha tenido su importancia en la historia de la ciencia.

Consideremos la controversia setecentista en torno al movimiento de la Tierra y supongamos que Tycho Brahe y Kepler están en lo alto de una colina mirando hacia el este al amanecer. Según Hanson, hay un sentido en el que Tycho y Kepler ven lo mismo. Ambos «ven» un disco anaranjado entre manchas de color verde y azul. Pero hay también otro sentido en el que Tycho y Kepler no ven lo mismo. Tycho «ve» salir el Sol por detrás del horizonte fijo. Kepler «ve» un horizonte que desciende bajo el Sol estacionario. Ver el Sol como Kepler lo ve supone haber efectuado un cambio de *Gestalt* [40].

---

38 N. R. Hanson, *Patterns of Discovery* (Cambridge: Cambridge University Press, 1958 [ed. cast. *Patrones de descubrimiento;* Madrid, Alianza, 1977; trad. por Enrique García Camarero]), Capítulo IV y *passim.*

39 Ludwig Wittgenstein, *Philosophical Investigations* (Nueva York: Macmillan, 1953), 193-207.

40 Hanson, *Patterns of Discovery,* 5-24.

Capítulo 14

ALTERNATIVAS A LA ORTODOXIA

THOMAS S. KUHN (1922-) es doctor en física por la Univers dad de Harvard y director del Departamento de Historia y Filosofía de la Ciencia en rinceton. Es autor de importantes estudios históricos sobre la revolución copernicana y la física del siglo xx, habiendo aportado algunas ideas enormemente influyentes acerca de la naturaleza del progreso científico.

IMRE LAKATOS (1922-1974) nació en Hungría y fue víct ma de la persecución nazi, pasando poster ormente tres años en la cárcel durante la época de la represión estalinista. En 1956 abandonó Hungtía para instalarse en Inglaterra, donde desarrolló sus invest gaciones en el campo de la filosofía de las matemáticas y de la filosofía de la ciencia en Cambridge y en la London School of Economics (Escuela de Economía de Londres).

ARRY AUDAN (1941-) se doctoró en Princeton y es catedrático del Departamento de Historia y Filosofía de la Ciencia de Pittsburgh. En *Progress and ist Problems* (El progreso y sus problemas) (1977), Laudan propuso una reconstrucción racional del progreso científico que pudiera reemplazar a las de Kuhn y Lakatos.

Kuhn: «ciencia normal» y «ciencia revolucionaria»

Las numerosas críticas a la ortodoxia tuvieron un efecto acumulativo. Muchos filósofos de la ciencia llegaron a pensar que se había perdido algo funda ental al proceder a la reconstrucción de la ciencia en base a las categorías de la lógica formal. Les parecía que los análisis ortodoxos de 'teoría', 'confirmación' y 'reducción' tenían poco que ver con la práctica científica real.

La estructura de las revoluciones científicas de Thomas Kuhn (primera edición, 1962)[1] constituyó una alternativa a la concepción ortodoxa de la ciencia de la que se habló largo y tendido. Kuhn esbozó una «reconstrucción racional» del progreso científico, la cual se basaba en su propia interpretación de los desarrollos de la historia de la ciencia. Pero la reconstrucción de Kuhn no es sólo una historia de la ciencia más, sino que conlleva un comentario de segundo orden —una filosofía de la ciencia— en donde presenta conclusiones normativas acerca del método científico.

Toulmin y Hanson habían indicado la dirección que podía adoptar una reconstrucción racional del progreso científico. Habían subrayado la importancia de las discontinuidades en las que los científicos llegan a ver los fenómenos de manera diferente. Kuhn desarrolló este énfasis bajo la forma de un modelo del progreso científico en el que períodos de «ciencia normal» alternan con períodos de «ciencia revolucionaria».

Ciencia normal

Son las innovaciones conceptuales las que reciben la mayor atención por parte de los historiadores de la ciencia. Pero buena parte —si no la mayor— de la ciencia tiene lugar a un nivel más prosaico y consiste en «trabajos de limpieza»[2] en los que un paradigma establecido se aplica a nuevas situaciones. La ciencia normal conlleva

1) un aumento de la precisión en el acuerdo entre las observaciones y los cálculos basados en el paradigma;
2) una ampliación del ámbito del paradigma en orden a cubrir otros fenómenos;
3) una determinación de los valores de las constantes universales;
4) una formulación de leyes cuantitativas que además articulen el paradigma; y
5) una decisión acerca de cuál de los modos alternativos de aplicación del paradigma a un nuevo campo resulta más satisfactoria.

1 Thomas Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions* (1.ª ed., Chicago: University of Chicago Press, 1962 [ed. cast., *La estructura de las revoluciones científicas;* México, Fondo de Cultura Económica, 1975; trad. por Agustín Contín]).
2 Ibid., 24.

La ciencia normal es una empresa conservadora. Kuhn la caracterizó como una «actividad de resolución de rompecabezas»[3]. La carrera de la ciencia normal se desarrolla sin perturbaciones mientras la aplicación del paradigma explique satisfactoriamente los fenómenos a los que se aplica. Pero ciertos datos pueden revelarse contumaces. Si los científicos creen que el paradigma *debería corresponderse* con los datos en cuestión, entonces la confianza en el programa de la ciencia normal se ve conmovida. El tipo de fenómenos descritos por los datos pasa a considerarse como una anomalía. Kuhn está de acuerdo con Toulmin en que es la existencia de anomalías lo que sirve de estímulo para la invención de paradigmas alternativos. Kuhn sostuvo que

> en último término, la ciencia normal tiende únicamente al reconocimiento de anomalías y a crisis. Y éstas se resuelven no por deliberación e interpretación, sino —al igual que en el cambio de *Gestalt*— por un acontecimiento relativamente repentino y no estructurado[4].

La competencia entre paradigmas es completamente diferente de una competencia entre funciones matemáticas que hayan de corresponderse con un conjunto de datos. Los paradigmas en competencia son inconmensurables; reflejan orientaciones conceptuales diferentes. Quienes proponen paradigmas alternativos ven de manera diferente cierto tipo de fenómenos. Así, por ejemplo, donde el aristotélico «ve» la caída lenta de un cuerpo obligado a ello, el newtoniano «ve» el movimiento (casi) isócrono de un péndulo.

Ciencia revolucionaria

La presencia de una o dos anomalías no es suficiente para producir el abandono de un paradigma. Kuhn sostenía que la lógica de la falsación no es aplicable al caso del rechazo de un paradigma. No se desestima un paradigma sobre la base de una comparación de sus consecuencias con los elementos de juicio empíricos, sino que el rechazo de un paradigma es más bien una relación triangular en la que están involucrados un paradigma establecido, un paradigma rival y los elementos de juicio observacionales.

La ciencia entra en un período revolucionario cuando surge un paradigma alternativo prometedor. Podría parecer que lo que se necesita en esta fase es una comparación de los dos paradigmas con

[3] Ibid., 35-42.
[4] Ibid., 121.

los resultados de la observación, pero tal comparación únicamente podría llevarse a cabo si se dispusiera de un lenguaje independiente de los paradigmas en el cual se registrasen los resultados de las observaciones. ¿Se dispone de dicho lenguaje? Kuhn creía que no y afirmaba:

en un sentido que soy incapaz de explicar mejor, quienes proponen paradigmas en competencia practican sus profesiones de manera diferente. Uno contiene cuerpos forzados que caen lentamente y el otro péndulos que repiten una y otra vez su conocimiento. En un caso, las soluciones son compuestos; en el otro, mezclas. Uno se encuentra inserto en una matriz espacial plana, mientras que el otro lo está en una matriz curva. Al ejercer en diferentes mundos, los dos grupos de científicos ven cosas diferentes cuando miran desde el mismo punto y en la misma dirección[5].

De este modo, el cambio de paradigmas se asemeja a un cambio de *Gestalt*[6]. Los paradigmas en competencia no son del todo inconmensurables. Dado un determinado problema, dos paradigmas pueden diferir respecto a los tipos de respuesta que se estiman permisibles. Así, en la tradición cartesiana preguntar qué fuerzas están actuando sobre un cuerpo es pedir que se especifique qué otros cuerpos están ejerciendo una presión sobre él. En la tradición newtoniana, sin embargo, se puede responder a la pregunta por las fuerzas sin referirse a la acción por contacto; basta con especificar una función matemática adecuada[7]. Además, aunque un nuevo paradigma suele incorporar conceptos del viejo paradigma, estos conceptos prestados se suelen emplear de manera diferente. Por ejemplo, en el paso de la física newtoniana a la relatividad general los términos 'espacio', 'tiempo' y 'materia' sufrieron una reinterpretación de gran alcance[8].

El desenlace de un conflicto entre paradigmas no es, sin embargo, fortuito. Kuhn sostuvo que, si bien los paradigmas en competencia son inconmensurables, el cambio de paradigmas comporta sus propios criterios de racionalidad. Por encima de todo, el paradigma triunfante debe dar un tratamiento sastisfactorio a las anomalías que condujeron a la crisis. Además, en igualdad de circunstancias, un aumento de precisión cuantitativa puntúa en favor del nuevo paradigma.

En la primera edición de *La estructura de las revoluciones científicas,* Kuhn diseñó un modelo del progreso científico que habría de sobreimponerse a los desarrollos históricos. Si este modelo se adecúa o no a ellos es algo que deben determinar los historiadores de

[5] Ibid., 149.
[6] Ibid., 121.
[7] Ibid., 147.
[8] Ibid., 148.

la ciencia. Pero antes de que el historiador pueda hacerlo, debe tener claras las líneas maestras del modelo. ¿Cómo va a determinar si un resultado experimental es una anomalía, si la actividad de resolución de rompecabezas ha entrado en la fase de crisis o si ha tenido lugar un cambio de *Gestalt?*

Por desgracia, el uso del concepto de 'paradigma' por parte de Kuhn ha sido equívoco. Dudley Shapere [9] y Gerd Buchdahl [10] criticaron a Kuhn por oscilar continuamente entre un sentido amplio y un sentido restringido de 'paradigma'.

En sentido amplio, un 'paradigma' es una 'matriz disciplinar', esto es, una «completa constelación de creencias, valores, técnicas, etc., compartidas por los miembros de una comunidad determinada» [11]. Los miembros de una comunidad de científicos practicantes pueden compartir un compromiso con la existencia de entidades teóricas (Espacio Absoluto, átomos, campos, genes...). Además, dichos miembros pueden estar de acuerdo acerca de qué tipos de investigación y explicación son importantes (estudios *in vivo* frente a estudios *in vitro,* acción por contacto frente a interpretaciones de campos, explicaciones deterministas frente a explicaciones probabilísticas...). Esos compromisos y creencias forman parte de un paradigma en sentido amplio. Una matriz disciplinar incluye también uno o más «paradigmas» en sentido restringido.

En sentido restringido, un «paradigma» es un «ejemplar», una presentación influyente de una teoría científica. Por lo general, los ejemplares se consignan, desarrollan y revisan en los libros de texto, los cuales contienen ilustraciones y ampliaciones estereotipadas de una teoría [12].

Shapere y Buchdahl llamaron la atención sobre los efectos nocivos de este uso equívoco de «paradigma» en la tesis kuhniana sobre la historia de la ciencia. Si es el sentido restringido de paradigma el que Kuhn tiene en mente, entonces el contraste entre la ciencia normal y la ciencia revolucionaria se reduce considerablemente. En lugar de hablar de «articulaciones de un único paradigma», el historiador tendría que tratar con una sucesión de diferentes ejemplares. Por ejemplo, en el sentido restringido, Newton, d'Alembert, Lagrange, Hamilton y Mach formularon diferentes «paradigmas» para la mecánica. Sin embargo, las transiciones entre dichos «paradigmas»

---

9 Dudley Shapere, «The Structure of Scientific Revolutions», *Phil. Rev. 73* (1964), 383-94.

10 Gerd Buchdahl, «A Revolution in Historiography of Science», *Hist. Sci. 4* (1965), 55-69.

11 Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions,* 175.

12 Ibid., 43.

difícilmente merecen el término 'revolución'. Por otra parte, si es el sentido amplio de «paradigma» el que Kuhn tiene en mente, entonces el concepto es demasiado vago para resultar útil como instrumento para el análisis histórico.

En una posdata a la segunda edición de *La estructura de las revoluciones científicas* (1969), Kuhn admitió que su uso del término «paradigma» había sido equívoco [13]. Mantuvo, sin embargo, que la investigación histórico-sociológica puede revelar tanto ejemplares como matrices disciplinares. El sociólogo comienza por examinar las conferencias a las que ha asistido, las revistas leídas, los artículos publicados, la bibliografía citada, etc. Sobre la base de estos datos, identifica diferentes «comunidades de practicantes» y estudia a continuación el comportamiento de los miembros de la comunidad para ver cuáles son los compromisos que comparten.

En su análisis de los probables resultados de tales estudios, Kuhn desdibujó el antaño agudo contraste entre la ciencia normal y la ciencia revolucionaria. Predijo que uno de los resultados de la investigación sociológica sería la identificación de un gran número de grupos relativamente pequeños. Admitió que puede tener lugar una revolución dentro de una micro-comunidad sin que se produzca un cataclismo dentro de una ciencia, admitió la sustitución de un paradigma por otro sin que tuviera lugar una crisis previa dentro de la comunidad y amplió el margen de respuestas posibles a una situación de crisis con vistas a dar cabida a la posposición de una anomalía para una ulterior consideración. Pero mucho más sorprendente fue todavía que Kuhn concediera que la práctica de la «ciencia normal» en el seno de una micro-comunidad pudiera venir acompañada por una discusión de aquellos compromisos metafísicos fundamentales para la «matriz disciplinar» de una ciencia. Reconoció que, en el siglo XIX, los miembros de las comunidades químicas realizaron una actividad común de resolución de rompecabezas a pesar de sus diferencias de opinión en relación a la existencia de átomos. Todos ellos compartían un compromiso con el uso de ciertas técnicas de investigación, pero estaban en desacuerdo —a menudo de manera apasionada— acerca de la interpretación adecuada de dichas técnicas [14].

Más de un comentarista se ha quejado de que, en la primera edición de *La estructura de las revoluciones científicas,* Kuhn hubiese presentado una caricatura de la ciencia. Watkins, por ejemplo, pensaba que Kuhn había representado la ciencia como una serie de

---

[13] Kuhn, «Postscript–1969», en la segunda edición de *The Structure of Scientific Revolutions* (Chicago: University of Chicago Press, 1970), 174-210.

[14] Ibid., 180-81.

cataclismos bien espaciados, a los que separaban prolongados intervalos dogmáticos [15]. Sin embargo, en la posdata de Kuhn la ciencia normal ha perdido cualquier carácter monolítico que anteriormente pudiera haber tenido. La ciencia normal es creada por una microcomunidad en la medida en que sus miembros estén de acuerdo acerca del valor de un ejemplar (paradigma$_2$) para la investigación. Y Kuhn toma ahora en consideración el cambio de ejemplares en ausencia de toda crisis. Podría parecer que Kuhn ha desarmado a sus críticos, pero la verdad es que, como afirmara Alan Musgrave, 'la concepción actual de la «ciencia normal» por parte de Kuhn apenas producirá conmoción entre quienes reaccionaron violentamente contra lo que veían, o creían ver, en su primera edición' [16].

Lakatos y los programas de investigación científica

La reconstrucción racional del progreso científico fue una cuestión ampliamente debatida en los años sesenta. Popper y Kuhn habían suministrado los textos fundamentales para la discusión y fueron seguidos por un período de exposición y comparación. Posiblemente el más importante de los nuevos puntos de vista que surgieron en estas discusiones fuese el de Imre Lakatos.

Lakatos reconoció que Kuhn tenía razón al poner el énfasis sobre la continuidad en la ciencia [17]. Los científicos siguen empleando teorías aún frente a la evidencia que parece refutarla. La mecánica newtoniana es uno de esos casos. Los científicos del siglo XVII reconocieron que el movimiento anómalo de Mercurio era un tanto en contra de la teoría. A pesar de todo, continuaron utilizándola y no por ello actuaron irracionalmente. No obstante, de acuerdo con los principios metodológicos de Popper, es irracional ignorar los elementos de juicio falsadores. Lakatos criticó a Popper por no haber distinguido entre la refutación y el rechazo [18]. Lakatos estaba de acuer-

---

15 John Wa kins, «Against 'Nor al Science'», en Lakatos y Musgrave, eds., *Criticism and the Growth of Knowledge*, 31.

16 Alan Musgrave, «Kuhn's Second Thoughts», *Brit. J. Phil. Sci.* 22 (1971), 291 [ed. cast. *Los segundos pensamientos de Kuhn;* Valencia, Cuadernos Teorema, núm. 31, 1978; trad. por Rafael Beneyto].

17 Imre Lakatos, «Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes», en *Cristicism and the Growth of Knowledge*, 177.

18 Popper respondió que Lakatos le había alinterpretado e insistió en que había distinguido con toda claridad la relación lógica de refutación de la cuestión metodológica del rechazo. Señaló cómo la cuestión del rechazo depende en parte de cuáles son las eorías alternativas disponibles. Véase Karl Popper, «Replies to My Critics», en *The Philosophy of Karl Popper*, Vol. II, ed. por P. Schilpp (La Salle: Open Court, 1974), 1009.

do con Kuhn en que a la refutación no le sigue, ni le debería seguir, de una manera invariable el rechazo. Se debería permitir a las teorías florecer incluso dentro de un «océano de anomalías».

Pero, tras conceder una buena nota a Kuhn por haber puesto el énfasis en la continuidad, Lakatos le criticó por tratar los episodios revolucionarios como casos de «conversión mística» [19]. En opinión de Lakatos, Kuhn había representado la historia de la ciencia como una sucesión irracional de períodos de racionalidad.

Esta fue una de las máximas injusticias hacia Kuhn. Aunque éste comparaba el cambio teórico con el nacimiento de una nueva perspectiva nunca mantuvo que las revoluciones científicas fuesen irracionales. Imagino que, dado que «Kuhn-el-irracionalista» no existe, era necesario inventarle. «Kubn-el-irracionalista» es un punto de comparación útil para los filósofos de la ciencia que creen en la posibilidad de hallar reglas de evaluación para el cambio teórico.

Lakatos sostenía que, a menos que pudiera darse una reconstrucción racional del cambio teórico, la interpretación del cambio científico debería dejarse en manos de los historiadores y los psicólogos. Popper había llevado a cabo una reconstrucción racional, de acuerdo con la cual el progreso científico consiste en una cadena de conjeturas y de pretendidas refutaciones. Lakatos trató de perfeccionar esta reconstrucción. En especial, recomendó como unidad básica para la evaluación los «programas de investigación», en lugar de teorías individuales. De acuerdo con Lakatos, un programa de investigación 'consiste en reglas metodológicas: unas nos dicen qué líneas de investigación hemos de evitar (heurística negativa) y otras qué líneas de investigación hemos de seguir (heurística positiva)' [20]. Un ejemplo es el programa de investigación newtoniano para el cálculo de las órbitas de los planetas y de la Luna. El programa se pone en práctica mediante la aplicación de una serie de teorías:

T_1—*Ley* de atracción gravitatoria aplicada en base a los supuestos de que el planeta y el Sol son masas puntuales y de que el Sol permanece estacionario.

T_2—Corrección introducida para los movimientos mutuos del planeta y del Sol en torno a su centro común de gravedad.

T_3—Corrección introducida para las perturbaciones producidas por la atracción gravitatoria de los otros planetas del sistema.

T_4—Corrección introducida para las distribuciones asimétricas de las masas de los planetas [21].

---

[19] Lakatos, «Criticism and the Methodology of Scientific Research Programmes», *Prod. Arist. Soc.* 69 (1968), 151.

[20] Lakatos, «Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes», 132.

[21] Ibid., 135-36.

La heurística negativa de un programa de investigación aísla un «núcleo» de proposiciones que no están expuestas a la falsación. Estas proposiciones se aceptan por convención y quienes llevan a la práctica el programa de investigación las consideran irrefutables. En el programa de investigación newtoniano, la heurística negativa protege a los axiomas del movimiento y a la Ley de atracción gravitatoria. Proposiciones del núcleo de otros programas de investigación son:

el principio de horizontalidad originaria de Stensen, principio metodológico para la interpretación de la columna geológica, el postulado atomista de que las reacciones químicas son el resultado de la asociación y disociación de átomos, y el principio de selección natural.

La heurística positiva es una estrategia para construir una serie de teorías de tal manera que se puedan superar los defectos de cualquier etapa concreta. La heurística positiva consta de un conjunto de sugerencias relativas al procedimiento para tratar las anomalías previstas. A medida que el programa de investigación se desarrolla, se crea alrededor del núcleo de proposiciones infalsables un «cinturón protector» formado por hipótesis auxiliares. Algunos ejemplos extraídos de la historia de la ciencia son:

la suposición de los partidarios del programa copernicano de que el fracaso en la detección de la paralaje estelar se debía a la gran distancia existente entre la Tierra y las estrellas, y la suposición de los partidarios del programa newtoniano de que el hecho de que un planeta no se ajustase a las leyes de Kepler se debía a la influencia perturbadora de otros planetas.

Las contrastaciones significativas del programa de investigación se dirigen a estas hipótesis auxiliares. El resultado negativo de una sola contrastación no refuta la totalidad de un programa de investigación. Lakatos criticó a Popper por exagerar la importancia de los resultados negativos de una contrastación. Cuando uno de estos se produce, una estrategia fecunda puede consistir en modificar el cinturón protector de hipótesis auxiliares para hacer un sitio a la anomalía. Y, en algunos casos, la mejor respuesta posible puede ser aplazar la anomalía para una futura consideración.

Mas entonces, ¿cómo ha de evaluarse un programa de investigación? Lakatos insistió, frente a Duhem y Kuhn, en que existen reglas de evaluación para series de teorías. Algunas series constituyen «cambios progresivos», mientras que otras constituyen «cambios degenerativos».

Una cadena de teorías —T_1, T_2, ...T_n— es progresiva si se satisfacen las siguientes condiciones:

1) Parte del excedente de contenido de T_n ha sido corroborado.
2) T_n tiene mayor contenido empírico que T_{n-1}; y
3) Parte del excedente de contenido de T_n ha sido corroborado.

De lo contrario, el cambio es degenerativo [22].

Lakatos subrayó que éste es un criterio *objetivo*. Un programa de investigación recibe una evaluación afirmativa en la medida en que manifieste la capacidad de prever y asimilar nuevos datos.

No obstante, este criterio objetivo debe aplicarse en un momento determinado. Y un programa de investigación que se cree «degenerativo» en una fase determinada de su desarrollo puede conseguir rehabilitarse años después. Lakatos aludió a la suerte cambiante del programa de investigación de Prout [23], cuyo propósito consistía en mostrar que los pesos atómicos de los elementos químicos son múltiplos exactos del peso atómico del hidrógeno (1,0 gm/átomo gm). En 1816 el programa parecía prometedor. Ulteriores purificaciones de muestras de diversos elementos llevaron a determinaciones que se aproximaban a valores de números enteros. Sin embargo, los pesos atómicos de algunos otros elementos, especialmente el cloro resultaban fraccionarios (Cl=35,5 gm/átomo gm). Muchos químicos llegaron a la conclusión de que el programa proutiano se encontraba sumido en un cambio degenerativo y lo abandonaron. Décadas después se descubrió que muchos de los elementos que se encuentran en la naturaleza son combinaciones de isótopos. En el caso del cloro hay dos isótopos: Cl^{35} y Cl^{37}. Las técnicas modernas para la separación de isótopos fueron reclutadas al servicio de un programa proutiano revitalizado.

Feyerabend denunció cómo las reglas lakatosianas de evaluación solamente tienen un valor práctico si se complementan con una limitación temporal. Si ésta no se especifica no habrá nunca razón alguna para abandonar un programa de investigación. Lo que en principio parece un cambio degenerativo puede, sin embargo, ser la etapa inicial de un cambio progresivo a largo plazo. Como dijo Feyerabend, «si está permitido esperar, ¿por qué no esperar un poco más?» [24].

Lakatos respondió que esta objeción está fuera de lugar, pues Feyerabend ha mezclado dos cuestiones:

1) la evaluación metodológica de un programa de investigación, y

[22] Ibid., 116-18, 134.
[23] Ibid., 138-40.
[24] Paul Feyerabend, «Consolations for the Specialist», en *Criticism and the Growth Knowledge*, 215.

2) la decisión de seguir o no aplicando un programa de investigación.

Con respecto al primer punto, Lakatos llamó la atención sobre el hecho de que él había especificado reglas de evaluación para los programas de investigación. Es verdad que la evaluación de un programa de investigación puede cambiar con el tiempo. En concreto, un hallazgo experimental negativo sólo de manera retroactiva puede llegar a considerarse «crucial» con respecto a un programa.

En relación al segundo punto, Lakatos insistió en que no es tarea del filósofo de la ciencia recomendar al científico decisiones acerca de su investigación. Algunos científicos pueden decidir continuar con un programa de investigación degenerativo en la esperanza de que el trabajo ulterior convierta al programa nuevamente en progresivo. Lakatos declaró que 'es perfectamente racional participar en un juego arriesgado: lo que resulta irracional es engañarse acerca del riesgo' [25]. Para minimizar las oportunidades de auto-engaño, Lakatos recomendó que se estableciera un registro público acumulativo de los éxitos y fracasos de cada programa de investigación.

Feyerabend denunció también cómo el concepto lakatosiano de «cambio progresivo» es una idealización raramente —si es que alguna vez— realizada en la historia de la ciencia. Lo que generalmente sucede cuando T_2 triunfa sobre T_1 es que

1) T_2 explica algunos —pero no todos— de los éxitos anteriores de T_1, y
2) T_2 explica una serie de nuevos hechos no explicados por T_1 [26].

El modelo lakatosiano del progreso científico es una *reconstrucción racional* de la ciencia. No necesita ajustarse exactamente a cada episodio de la historia de la ciencia, pero sí debe estar de acuerdo a grandes rasgos al menos con algunos episodios. De lo contrario, la «reconstrucción» no sería una reconstrucción de la historia de la ciencia. Feyerabend llamó de este modo la atención sobre el problema de la relación de los modelos del progreso científico con la historia de la ciencia real.

---

25 Lakatos, «History of Science and its Rational Reconstructions», en *Boston Studie in t e Philosophy of Science,* Vol. VIII, ed. por R. Buck y R. Cohen (Dordrecht: D. Reidel, 1971 [ed. cast. en *La crítica y el de arrollo del conocimiento,* ya citado]), 104 n.

26 Feyerabend, «Consolations for the Specialist», 219-23.

Laudan y la interdependencia de la filosofía de la ciencia y la historia de la ciencia

Kuhn señaló que el intento de justificar una determinada reconstrucción racional resulta circular [27]. Un determinado modelo del progreso científico viene cualificado por su capacidad para descubrir la racionalidad implícita en la historia de la ciencia. Pero la propia historia de la ciencia es una interpretación de documentos escritos, una interpretación que refleja los juicios del historiador acerca de los factores que contribuyen al progreso científico. Parecería así que la filosofía de la ciencia, *qua* reconstrucción racional del progreso científico, se justifica por un recurso a la filosofía de la ciencia, *qua* compromisos metodológicos del historiador de la ciencia.

Larry Laudan ha sugerido un procedimiento de justificación que evita que el círculo se cierre. Primeramente se selecciona un conjunto de episodios históricos que hayan merecido opiniones a las que se tenga por bien fundadas. Se adoptan estas opiniones a encarnar nuestras «intuiciones favoritas» acerca de la racionalidad científica. Laudan presenta estos candidatos para el conjunto de intuiciones favoritas:

1) era racional en torno a 1800 aceptar la mecánica newtoniana y rechazar la mecánica aristotélica;
2) era racional en torno a 1890 rechazar la concepción del calor como un fluido; y
3) era racional en torno a 1925 aceptar la teoría general de la relatividad [28].

Las intuiciones favoritas sirven de casos paradigmáticos, sirviéndonos las opiniones sobre los mismos como punto de comparación para las restantes opiniones acerca de la racionalidad científica.

Dado un conjunto de casos paradigmáticos, se contrastan contra éste las reconstrucciones racionales de la ciencia que han sido propuestas. Laudan sostenía que

> el grado de adecuación de cualquier teoría de la evaluación científica es proporcional al número de IFs [intuiciones favoritas] de las que pueda dar cuenta debidamente. Cuanto mayor sea el número de nuestras profundas intuiciones que pueda reconstruir un modelo de racionalidad, mayor confianza tendremos

[27] Kuhn, «Notes on Lakatos», en *Boston Studies in the Philosophy of Science*, Vol. VIII, 143 [ed. cast. en *La crítica y el desarrollo del conocimiento*, ya citado]).

[28] Larry Laudan, *Progress and Its Problems* (Berkeley: University of California Press, 1977), 160.

en que se trata de una sólida explicación de lo que entendemos por 'racionalidad' [29].

El procedimiento de justificación de Laudan no es circular, pero sigue un camino en espiral. De acuerdo con esta concepción, la filosofía de la ciencia y la historia de la ciencia son disciplinas interdependientes. La historia de la ciencia es la fuente de nuestras intuiciones acerca del desarrollo científico, y la filosofía de la ciencia es un comentario de segundo orden que explica el ideal racional encarnado en estas intuiciones. La filosofía de la ciencia depende, pues, de la historia de la ciencia en relación a su objeto. Pero, según Laudan, la historia de la ciencia depende también de la filosofía de la ciencia. La historia de la ciencia es una reconstrucción basada en el ideal racional expuesto en la filosofía de la ciencia.

Laudan afirmaba que su tesis de la interdependencia de las dos disciplinas proporciona un término medio entre el logicismo y el relativismo. El logicismo radical convierte a la historia de la ciencia en algo irrelevante para la filosofía de la ciencia. El relativismo radical reduce la filosofía de la ciencia a una descripción de la práctica científica pasada y presente. La posición de compromiso de Laudan es que la filosofía de la ciencia contiene tanto un elemento descriptivo como un elemento normativo. Es descriptiva con respecto a los casos paradigmáticos seleccionados, pero normativa con respecto a los restantes episodios históricos.

La adecuación del modelo de Laudan depende de la elección de los casos paradigmáticos. Por descontado, nuestras ideas sobre éstos pueden cambiar. Los propios criterios de racionalidad están sujetos al desarrollo histórico. Laudan concede todo esto, pero mantiene —no obstante— que su modelo del progreso científico es sensible a la evolución de los criterios de racionalidad [30].

El modelo de Laudan representa la ciencia como una actividad de resolución de problemas. La unidad de progreso dentro de un dominio científico es el problema resuelto. Según Laudan, los problemas conceptuales son aquéllos que surgen cuando se toman en consideración teorías incompatibles o inverosímiles en su conjunto, o bien cuando existe un desacuerdo entre una teoría y los presupuestos metodológicos de ese dominio. Un ejemplo de este último caso es la incongruencia entre la estructura axiomática de la mecánica newtoniana y su supuestamente inductivista teoría del procedimiento. Esta incongruencia conceptual quedó únicamente resuelta cuando algunos de los sucesores de Newton reconocieron que el inductivismo no era

---

29 Ibid., 161.
30 Ibid., 187.

una teoría del procedimiento apropiada para la física teórica. A veces los problemas conceptuales se resuelven mediante un cambio de presupuestos metodológicos. De esta forma, el modelo de resolución de problemas se adapta a los criterios cambiantes de racionalidad.

El progreso en un dominio se logra cuando teorías sucesivas manifiestan una creciente eficacia en la resolución de problemas. Laudan trató de invertir el punto de vista logicista acerca de la relación entre racionalidad y progresos. La concepción logicista presupone que los desarrollos científicos se han de juzgar por recurso a un criterio de racionalidad. Los desarrollos que se ajusten a este criterio se calificarían de progresivos. La posición de Laudan, por el contrario, califica de racionales a aquellos desarrollos que son progresivos, esto es, que aumentan la eficacia en la resolución de problemas.

El progreso científico puede lograrse de muchas formas. Una de ellas consiste en aumentar el número de problemas empíricos resueltos. Laudan insistió en que una teoría puede «resolver» un problema empírico aun cuando suponga únicamente una solución aproximada del mismo [31]. De este modo, Laudan concede tanto a Galileo como a Newton el mérito de haber resuelto el problema de la caída libre [32].

Un segundo tipo de progreso consiste en la resolución de una anomalía. Laudan adoptó una concepción amplia de las anomalías. Sostenía que un resultado empírico puede hacer las veces de una anomalía aun cuando no sea inconsistente con la teoría en cuestión. Esto puede ocurrir, por ejemplo, si una teoría explica un resultado determinado y su sucesora no. Así, la teoría cartesiana de los vértices explicaba por qué los planetas giraban alrededor del Sol en el mismo sentido, en tanto que la teoría newtoniana de la atracción gravitatoria no lo hacía. Algunos científicos mantuvieron que esto era un argumento en contra de la teoría de Newton. Tenían razón al hacerlo. Laudan declaró que «cuando un problema empírico, *p*, ha sido resuelto por cualquier teoría, entonces *p* pasa a constituir una anomalía para toda teoría que en el dominio en cuestión no resuelva también *p*» [33].

Una anomalía se puede eliminar de varios modos. El más sencillo de todos consiste en revisar su base empírica. Si el planeta Urano —que había sido descubierto con posterioridad— hubiera exhibido

---

31 Ibid., 23-24.

32 La solución galileana es correcta sólo de manera aproximada. Galileo afirmó que la aceleración de un cuerpo que cae sobre la superficie terrestre es constante. Pero dado que la distancia entre el grave y el centro de la masa de la Tierra varía, la fuerza gravitatoria que actúa sobre el cuerpo y su aceleración también varían.

33 Laudan, *Progress and Its Problems*, 29.

un movimiento de retrogradación, la teoría newtoniana se habría salvado. Un segundo procedimiento consiste en asimilar la anomalía añadiendo una hipótesis auxiliar. La teoría newtoniana, en conexión con la hipótesis de la nebulosa de Laplace, podía dar cuenta del movimiento unidireccional de los planetas. Y una tercera forma de eliminar una anomalía consiste en efectuar cambios importantes en la teoría relevante.

Un tercer tipo de progreso científico es el producido por una restauración de la armonía conceptual entre teorías supuestamente en conflicto. Ejemplos de ello son la demostración por parte de Clausius de que la termodinámica clásica se puede desarrollar dentro de la teoría cinética de los gases [34], así como la investigación de Rutherford y otros acerca de la producción de energía en la desintegración radiactiva, investigación que eliminó una supuesta inconsistencia entre el cálculo de la edad de la Tierra debido a Kelvin y la teoría darwiniana de la evolución [35].

Retrospectiva y prospectiva

Feyerabend anunció en 1970 que la «filosofía de la ciencia» es «una materia con un gran pasado» [36]. Tomada en su valor nominal, no se trata de una afirmación polémica. Pero Feyerabend quería decir también que la «filosofía de la ciencia» es una disciplina sin futuro. La «filosofía de la ciencia» a la que se refería era el reconstruccionismo lógico. Señaló que

> existe una empresa que cuantos articipan en el tinglado toman en serio y en la cual la sencillez, la confirmación y el contenido empírico se discuten con i-derando enunciados del tipo (x) (Ax⊃Bx) y su relación con enunciados del tipo Aa, Ab, Aa y Ba, etc., y yo afirmo que *esta* empresa no tiene absolutamente nada que ver con lo que pasa en las ciencias [37].

Feyerabend sostuvo que no hay razón alguna para que un científico practicante consulte a un filósofo de la ciencia. Nada hay en la filosofía de la ciencia que le pueda ayudar a resolver sus problemas. En particular, las teorías de la confirmación no le ayudan al

---

[34] Ibid., 94-95.

[35] Joe D. Burc field, *Lord Kelvin and the Age of the Earth* (Nueva York: Science History Publications, 1975), 163-205.

[36] P. K. Feyerabend, «Philosophy of Science: A Subject with a Great Past», en *Historical and Philosophical Perspectives on Science*, ed. por R. Stuewer (Minneapolis: University of Minnesota Press, 1970 [ed. cast. en *Teorema*, Volumen IV, núm. 1, 1974]), 172-83.

[37] Ibid., 181.

científico a decidir qué teorías ha de aceptar. Ello se debe a que las teorías de la confirmación se basan en dos supuestos falsos. El primero de ellos es que existe un lenguaje observacional independiente de la teoría y con respecto al cual pueden evaluarse las teorías[38]. El segundo falso supuesto es que resulta posible que una teoría concuerde con todos los hechos conocidos en su dominio. En la práctica hay siempre algún elemento de juicio contrario a una teoría. Según Feyerabend, es tan inútil para un filósofo basar una teoría de la confirmación sobre este supuesto como para una empresa farmacéutica producir una medicina que cure al paciente sólo si está libre de cualquier clase de bacteria.

En opinión de Feyerabend, la filosofía de la ciencia ortodoxa está sumida en un 'cambio degenerativo'. Sus practicantes ignoran la ciencia para bregar con problemas relativos a contrafácticos, al 'verdul' y a la confirmación. Pero todo esto sirve para la preparación de tesis de doctorado. Sería aconsejable que el científico no hiciera ningún caso.

Tampoco hay razón alguna para que un historiador de la ciencia estudie filosofía de la ciencia. No hay nada en la filosofía ortodoxa de la ciencia que pueda ayudar al historiador a comprender el progreso de la ciencia en el pasado.

La propuesta constructiva de Feyerabend consiste en una «vuelta a las fuentes». El aspirante a filósofo de la ciencia debería olvidar los castillos en el aire del reconstruccionismo lógico y sumergirse en la historia de la ciencia. Feyerabend elogió los estudios de Kuhn, Ronchi, Hanson y Lakatos sobre episodios concretos de la historia de la ciencia[39].

«Vuelta a las fuentes». No cabe duda de que es un buen consejo. Pero Feyerabend no especificó de qué manera está la «filosofía de la ciencia» implicada en —o es una consecuencia de— la historia de la ciencia. Dado un episodio determinado, ¿qué es lo que distinguiría las pesquisas de un filósofo de la ciencia de las de un historiador de la ciencia?

Feyerabend objetaría sin duda alguna que plantear tal cuestión es adoptar un punto de vista inadmisiblemente estrecho. ¿Por qué habría de existir una disciplina diferente —la filosofía de la ciencia—, al margen tanto de la práctica de la ciencia como de la historia de la ciencia? Es más, ¿por qué habría de existir una historia de la *ciencia* diferente de la historia del pensamiento y de la acción? Feyerabend es un decidido partidario de borrar las líneas fronterizas que separan

[38] Véanse más arriba las páginas 200-202.
[39] Feyerabend, «Philosophy of Science: A Subject with a Great Past», 183.

la «filosofía de la ciencia» de los más amplios intereses de la historia de la cultura[40]. Desde este punto de vista, la filosofía de la ciencia es, y debería ser, una disciplina extinguida.

Esta afirmación es un poco severa, pero Feyerabend ha alcanzado su reputación como hereje. Herbert Feigl, por el contrario, se resistió a ancelar el reconstruccionismo lógi o omo un total desatino[41]. Feigl había participado en la ascensión y el reinado de la ortodoxia y miró atrás en la hora de su muerte para ver si ésta había contenido algo digno de salvarse. Llegó a la con lusión de que sí lo había.

En primer lugar, la posición ortodoxa explicó cómo podían ontrastarse y compararse las teorías. Según Feigl, la contrasta ión y la omparación de teorías es posible porque

1) existen relaciones deductivas entre las teorías y las leyes empíricas, y
2) existen numerosas leyes empíricas que son «relativamente firmes y aproximadamente exactas».

Por supuesto, las leyes empíricas pueden ser corregidas; en particular, están sujetas a la corrección «desde arriba». Feigl admitió que una teoría astrofísica, por ejemplo, podía en un momento dado sugerir revisiones en su base contrastadora (las leyes de la óptica física), pero señaló:

> no me impresionan esas posibilidades meramente especulativas que los enemigos del empirismo siguen inventando incansablemente con una super-sofisticación escandalosamente abstrusa. Mi punto de vista es sencillamente que miles de constantes ('de bajo nivel') físicas y químicas intervienen en leyes empíricas milagrosamente firmes[42].

Feigl citó el índice de refrac ión, la temperatura específi a, la ondu tibilidad térmi a y eléctri a y las regularidades de la composición química, así como las leyes de Ohm, Ampere, Coulomb, Faraday, Kirchhoff y Balmer.

Feigl insistió en que no pretendían afirmar la existencia de un lenguaje observacional neutral respecto a la teoría, cuyos enun iados determinasen el valor de verdad de las teorías. Los teóricos ortodoxos se equivocaron al fomentar la creencia en dicho lenguaje. Feigl man-

---

[40] Feyerabend, *Against Method* (London: New Left Books, 1975), 294-309.
[41] Herbert Feigl, «Empiricism at Bay?», en *Boston Studies in the Philosophy of Science*, Vol. XIV, ed. por R. Cohen y M. Wartofsky (Dordrecht: D. Reidel, 1974), 8.
[42] Ibid., 10.

tuvo que la base contrastadora de las teorías habría de desplazarse de los informes observacionales a las leyes empíricas, y afirmó que

> mientras que puede muy bien ocurrir que todas las teorías hayan 'nacido (o nazcan) falsadas' —esto es, que todas ellas presenten anomalías empíricamente demostrables—, hay miles de leyes empíricas que, al menos dentro de una determinada extensión de las variables relevantes, *no* han requerido revisión o corrección alguna durante décadas —y algunas incluso durante siglos— de desarrollo científico [43].

La relativa estabilidad de las leyes empíricas ha sido fuertemente subrayada por la filosofía ortodoxa de la ciencia. Ernest Nagel, por ejemplo, ha afirmado que muchas leyes tienen una vida propia con independencia de las teorías que se proponen para explicarlas [44].

Feyerabend ha sostenido que el significado de los términos de una ley empírica cambia cuando ésta se incorpora en el seno de otras teorías de más alto nivel. Aunque su forma sintáctica pueda no variar en la transición, «la ley» es diferente en cada teoría.

Feigl insistió en que este énfasis en la dependencia teórica de las leyes empíricas no hace justicia al papel de las leyes en la práctica científica. En la práctica, las teorías se evalúan de acuerdo con su capacidad para explicar las leyes empíricas. Según este criterio, la teoría de la relatividad de Einstein es superior a la mecánica newtoniana, la cual es —a su vez— superior a la teoría galileana de la caída de graves. Feigl cree que los teóricos ortodoxos tenían razón al mantener que el progreso científico consiste frecuentemente en la incorporación de leyes dentro de teorías cada vez más comprehensivas.

¿A dónde va la filosofía de la ciencia?

La ortodoxia ha empezado a mostrarse preocupada por los problemas suscitados por la reformulación de la ciencia en base a las categorías de la lógica formal. Feyerabend tenía razón al señalar la irrelevancia de un logicismo desmedido. El relativismo histórico, por su parte, reduce la filosofía de la ciencia a una visión descriptiva de la práctica real; pero limitarse a registrar la práctica real es abandonar la búsqueda de criterios de evaluación. Un filósofo de la ciencia debe estar sin duda alguna interesado en distinguir la ciencia de lo que no es ciencia y la «buena ciencia» de la «mala ciencia». Una filosofía de la ciencia viable debe conceder relevancia a la historia y a la práctica de la ciencia sin verse absorbida por la historia de la ciencia o la sociología de la ciencia.

---

[43] Ibid., 9.
[44] Ernest Nagel, *The Structure of Science*, 86-88.

BIBLIOGRAFIA SELECTA

Una útil bibliografía de las fuentes para la historia de la filosofía de la ciencia es:

LAUDAN, L., «Theories of Scientific Method from Plato to Mach: A Bibliographical Review», *History of Science*, 7 (1969), 1-63.

1. LA FILOSOFIA DE LA CIENCIA DE ARISTOTELES

OBRAS DE ARISTOTELES

The Works of Aristotle Translated into English, ed. por J. A. Smith y W. D. Ross, 12 vols., Oxford: Clarendon Press, 1908-52.
Prior and Posterior Analytics, ed. por W. D. Ross, Oxford: Clarendon Press, 1949. Contiene un comentario de Ross sobre estas obras.
[En castellano: *Obras*, ed. por F. de P. Samaranch, Madrid, Aguilar, 1964.]

OBRAS SOBRE ARISTOTELES

ALLAN, D. J., *The Philosophy of Aristotle*, 2.ª ed., Londres: Oxford University Press, 1970.
APOSTLE, H., *Aristotle's Philosophy of Mathematics*, Chicago, Ill.: University of Chicago Press, 1952.
BARNES, J., M. SCHOFIELD y R. SORABJI, eds., *Articles on Aristotle, Vol. 1*, Londres: Duckworth, 1975.
GRENE, M., *A Portrait of Aristotle*, Chicago, Ill.: Chicago University Press, 1963.
RANDALL, J. H., Jr., *Aristotle*, Nueva York: Columbia University Press, 1960.
ROSS, W. D., *Aristotle*, 5.ª ed. revisada, Londres: Methuen, 1949.
SOLMSEN, F.: *Aristotle's System of the Physical World*, Ithaca, N. Y.: Cornell University Press, 1960.

ANSCOMBE, G. E. M., «Aristotle: The Search for Substance», en Anscombe y Geach, *Three Philosophers*, Oxford, Blackwell, 1961.
DEMOS, R., «The Structure of Substance According to Aristotle», *Phil. and Phenom. Res.*, 5 (1944-1945), 255-68.
EVANS, M. G., «Causality and Explanation in the Logic of Aristotle», *Phil. and Phenom. Res.*, 19 (1958-1959), 466-85.
LEE, H. D. P., «Geometrical Methods and Aristotle's Account of First Principles», *Class. Quart.*, 29 (1935), 113-24.
MCKEON, R. P., «Aristotle's Conception of the Development and the Nature of Scientific Method», *J. Hist. Ideas*, 8 (1947), 3-44.
SELLARS, W., «Substance and Form in Aristotle», *J. Phil.*, 54 (1957), 688-99.

2. LA ORIENTACION PITAGORICA

GUTHRIE, W. K. C., *A History of Greek Philosophy*, Vol. I, Cambridge: Cambridge University Press, 1962.
HARRÉ, R., *The Anticipation of Nature*, Londres: Hutchinson, 1965. El capítulo 4, «The Pythagorean Principles», es un análisis de la orientación pitagórica.
PHILIP, J. A., *Pythagoras and Early Pythagoreanism*, Toronto, Ont.: University of Toronto Press, 1966.
CORNFORD, F. M., *Plato's Cosmology*, Nueva York: Liberal Arts Press, 1957. Traducción del *Timeo* de Platón con comentarios de Cornford.
PTOLOMEO, C., *The Almagest*, trad. por C. Taliaferro, en el vol. 16 de los Great Books of the Western World, Chicago, Ill.: Encyclopaedia Britannica, 1952.

3. EL IDEAL DE SISTEMATIZACION DEDUCTIVA

EUCLIDES, *Elements*, ed. por T. L. Heath, 3 vols., Nueva York: Dover Publications, 1926 [ed. cast. en *Obras completas;* México, U.N.A.M., 1944 (traducida por J. D. García Bacca)].
The Works of Archimedes with The Method of Archimedes, ed. por T. L. Heath, Nueva York: Dover Publications, reimpresión de la edición de 1912 de Cambridge University Press.
DIJKSTERHUIS, E. J., *Archimedes*, trad. por C. Dikshoorn, Copenhague: E. Munksgaard, 1956.

5. AFIRMACION Y DESARROLLO DEL METODO DE ARISTOTELES EN EL PERIODO MEDIEVAL

OBRAS GENERALES SOBRE EL PERIODO MEDIEVAL

CLAGETT, M., *The Science of Mechanics in the Middle Ages*, Madison: University of Wisconsin Press, 1959.
CROMBIE, A. C., *Robert Grosseteste and the Origins of Experimental Science* (1100-1700), Oxford: Clarendon Press, 1962. Contiene una amplia bibliografía.
GRANT, E., ed., *A Source Book in Medieval Science*, Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1974.
SHAPIRO, H., ed., *Medieval Philosophy, Selected Readings, from Augustine to Buridan*, Nueva York: The Modern Library, 1964.
SHARP, D. E., *Franciscan Philosophy at Oxford in the Thirteenth Century*, Nueva York: Russell & Russell, 1964.

THORNDIKE, L., *A History of Magic and Experimental Science*, Vol. 2, Nueva York, Macmillan, 1923.
WALLACE, W. A., *Causality and Scientific Explanation*, Vol. I, Ann Arbor: University of Michigan Press, 1972.
WEINBERG, J. R., *A Short History of Medieval Philosophy*, Princeton, N. J.: Princeton Universit Press, 1964.
—— «Historical Remarks on Some Medieval Views of Induction», en J. R. Weinberg, *Abstraction, Relation, and Induction*, Madison: University of Wisconsin Press, 1965. 121-53.
MOODY, E. A.: «Empiricism and Metaphysics in Medieval Philosophy», *Phil. Rev.*, 67 (1958), 145-63.

ROBERT GROSSETESTE

CROMBIE, A. C., «Grosseteste's Position in the History of Science», en *Robert Grosseteste*, ed. por D. A. Callus, Oxford: Clarendon Press, 1955.
—— «Quantification in Medieval Physics», *Isis*, 52 (1961), 143-60.
DALES, R. C., «Robert Grosseteste's Scientific Works», *Isis*, 52 (1961), 381-402.

ROGER BACON

The Opus Majus, trad. por R. B. Burke, Nueva York: Russell & Russell, 1962.
EASTON, S. C., *Roger Bacon and His Search for a Universal Science*, Nueva York: Columbia University Press, 1952.
STEELE, R., Roger Bacon and the State of Science in the Thirteenth Century», en *Studies in the History and Method of Science*, ed. por C. Singer, Oxford: Clarendon Press, 1921, vol. II, 121-50.

JUAN DUNS ESCOTO

Duns Scotus: Philosophical Writings, ed. y trad. por A. B. Wolter, Edimburgo: Nelson, 1962.
BOLER, J. F., *Charles Peirce and Scholastic Realism*, Seattle: University of Washington Press, 1963, 37-62.
HARRIS, C. R. S., *Duns Scotus* (1927), 2 vols., Nueva York: Humanities Press, 1959.

GUILLERMO DE OCCAM

Ockham: Philosophical Writings, ed. con una introducción de P. Boehner, Edimburgo: Nelson, 1962. Contiene una bibliografía de las obras de Occam.
Ockham: Studies and Selections, ed. con una introducción de S. C. Tornay, La Salle, Ill.: Open Court Publishing Co., 1938.
BOEHNER, P., *Collected Articles on Ockham*, ed. por E. M. Buytaert, St. Bonaventure, N. Y.: Franciscan Institute Publications, 1958.
MOODY, E. A.: *The Logic of William of Ockham*, Nueva York: Russell & Russell, 1965.
—— «Ockham, Buridan, and Nicolaus of Autrecourt», *Franciscan Stud.*, 7 (1947), 115-46.
SHAPIRO, H., *Motion, Time and Place According to William Ockham*, St. Bonaventure, N. Y.: Franciscan Institute Publications, 1957.
PEGIS, A. C., «Some Recent Interpretations of Ockham», *Speculum*, 23 (1948), 452-63.

NICOLAS DE AUTRECOURT

«First and Second Letters to Bernard of Arezzo», en *Medieval Philosophy*, ed. por H. Shapiro, 510-27.
WEINBERG, J. R., *Nicolaus of Autrecourt: A Study in Fourteenth-Century Thought*, Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1948.

6. EL DEBATE SOBRE SALVAR LAS APARIENCIAS

Ptolemy, Copernicus, Kepler, vol. 16 de los Great Books of the Western World, Chicago: Encyclopaedia Britannica, 1952. Contiene:
Ptolomeo, *The Almagest*, trad. por R. C. Taliaferro;
Copérnico, *On the Revolutions of the Heavenly Spheres*, trad. por C. G. Wallis [ed. cast., *Las revoluciones de las esferas celestes*, Libro I; Buenos Aires, EUDEBA, 1965 (trad. por Jorge Fernández Chiti)];
Kepler, *Epitome of Copernican Astronomy*, libros IV y V, trad. por C. G. Wallis; y
Kepler, *The Harmonies of the World*, libro V, trad. por C. G. Wallis.
Three Copernican Treatises, 2.ª ed., trad. por E. Rosen, Nueva York: Dover Publications, 1959. Contiene:
Copérnico, *Commentariolus*;
Copérnico, *Letter Against Werner*;
Rheticus, *Narratio Prima*; y
Annotated Copernicus Bibliography (1939-1958), reunida por Rosen.
DUHEM, P., *To Save the Appearances*, trad. por E. Doland y C. Maschler, Chicago, Ill.: University of Chicago Press, 1969.
KOYRE, A., *La révolution astronomique*, París: Hermann, 1961.
KUHN, T. S., *The Copernican Revolution*, Nueva York: Random House, 1957 [ed. ast., *La revolución copernicana*; Barcelona, Ariel, 1978 (trad. por Domènec Bergadà)].
O'NEIL, W. M., *Fact and Theory*, Parte 2, Sydney, N. S. W.: Sydney University Press, 1969.
WESTMAN, R. S., ed., *The Copernican Achievement*, Berkeley: University of California Press, 1975.

7. EL ATAQUE DEL SIGLO XVII A LA FILOSOFIA ARISTOTELICA

I. Galileo

OBRAS DE GALILEO

The Assayer, trad. por S. Drake, en *The Controversy on the Comets of 1618*, trad. por S. Drake y C. D. O'Malley, Filadelfia: University of Pennsylvania Press, 1960, 151-336.
Dialogue Concerning the Two Chief World Systems (1632), trad. por S. Drake, Berkeley: University of California Press, 1953 [ed. ast., *Diálogo sobre los sistemas máximos*; Buenos Aires, Aguilar, 4 vols., 1975 y sigs. (trad. por J. M. Revuelta)].
Dialogues Concerning Two New Sciences (1638), trad. por H. Crew y A. de Salvio, Nueva York: Dover Publications, reimpresión de la edición de Macmillan de 1914 [ed. ast., *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas iencias*; Madrid, Editora Nacional, 1976 (Edición de Carlos Solís y Javier Sádaba)].

Discoveries and Opinions of G lileo, trad. por S. Drake, Garden City, N. Y.: Doubleday Anchor Books, 1957. [Contiene *The Starry Messenger* (1610), *Letters on Sunspots* (1613), *Letter to the Grand Duchess Christina* (1615), y parte de *The Assayer* (1623).]

OBRAS SOBRE GALILEO

BUTTS, R. E., y PITTS, J. C., eds., *New Perspectives on Galileo,* Dordrecht: Reidel, 1978.
DE SANTILLANA, G., *The Crime of Galileo,* Chicago, Ill.; University of Chicago Press, 1963.
DRAKE, S., *Galileo Studies,* Ann Arbor: Universi y of Michigan Press, 1970.
GEYMONAT, L., *Galileo Galilei,* trad. por S. Drake, Nueva York: McGraw-Hill, 1965 [ed. cast. *G lileo Galilei;* Barcelona, Península, 1969 (trad. por J. R. Capella)].
MCMULLIN, E., ed., *Galileo, Man of Science,* Nueva York: Basic Books, 1967.
SHAPERE, D., *Galileo,* Chicago: University of Chicago Press, 1974.
SHEA, W., *Galileo's Intellectual Revolution,* Nueva York: Science History, 1972.
SEEGER, R. J., *Men of Physics: Galileo Galilei, His Life and Works,* Nueva York: Pergamon Press, 1966.
KOYRÉ, A., «Galileo and Plato», *J. Hist. Ide s,* 4 (1943), 400-28.
—— «Galileo and he Scientific Revolution of the Seventeen h Century», *Phil. Rev.,* 52 (1943), 333-48.
—— «An Experiment in Measurement», *Proc. Am. Phil. Soc.,* 97 (1953), 222-37. [Hay traducción castellana de estos tres artículos de Koyré en sus *Estudios de historia del pensamiento científico;* Madrid, siglo XXI, 1977 (trad. por Encarnación Pérez Sedeño y Eduardo Bustos).]
MOODY, E. A., «Galileo and Avempace», *J. Hist. Ideas,* 12 (1951), 163-93; 375-422.
OLSCHKI, L., «Galileo's Philosophy of Science», *Phil. Rev.* 52 (1943), 349-65.
SETTLE, T. B., «An Experiment in the History of Science», *Science,* 133 (6 de enero de 1961), 19-23.
WIENER, P. P., «The Tradition Behind Galileo's Methodology», *Osiris,* I, (1936), 733-44.

II. Francis Bacon

OBRAS DE FRANCIS BACON

The Works of Francis Bacon, 14 vols., ed. por J. Spedding, R. L. Ellis y D. D. Heath, Nueva York: Hurd and Houghton, 1869.
[Hay edición castellana del *Novum Organum,* Barcelona, Fontanella, 1979 (trad. por Cristóbal Litrán).]

OBRAS SOBRE FRANCIS BACON

ANDERSON, F. H., *The Philosophy of Francis Bacon,* Chicago, Ill.: University of Chicago Press, 1948.
BROAD, C. D., *The Philosophy of Francis Bacon,* Cambridge: Cambridge University Press, 1926.
FARRINGTON, B., *Fr ncis Bacon: Philosopher of Industrial Science,* Nueva York: Schuman, 1949 [ed. cast. *Francis Bacon, filósofo de la revolución industrial;* Madrid, Ayuso, 1971 (trad. por R. Ruiz de la Cuesta).]

—— *The Philosophy of Francis Bacon. An Essay on its Development from 1603 to 1609 with New Translations of Fundamental Texts*, Liverpool: Liverpool University Press, 1964.
ROSSI, P., *Francis Bacon: From Magic to Science*, trad. por S. Rabinovitch, Londres: Routledge & Kegan Paul, 1968.
TAYLOR, A. E., «Francis Bacon», *Proc. Brit. Acad.*, 12 (1926), 273-94. Reimpreso por Oxford University Press, 1927.
DUCASSE, C. J., «Francis Bacon's Philosophy of Science», en R. M. Blake, C. J. Ducasse y E. H. Madden, *Theories of Scientific Method: The Renaissance Through the Nineteenth Century*, Seattle: The University of Washington Press, 1960.
PRIMACK, M., «Outline of a Reinterpretation of Francis Bacon's Philosophy», *J. Hist. Phil.*, 5 (1967), 123-32.

III. Descartes

OBRAS DE DESCARTES

Oeuvres de Descartes, ed. por C. Adam y P. Tannery, París: Léopold Cerf, 1897-1913.
Descartes: Philosophical Writings, ed. y trad. por G. E. M. Anscombe y P. T. Geach, Edimburgo: Nelson, 1954.
The Philosophical Works of Descartes, trad. por E. S. Haldane y G. R. T. Ross, 2 vols., Nueva York: Dover Publications, 1955.
Descartes: Philosophical Letters, trad. y ed. por A. Kenny, Oxford: Clarendon Press, 1970.
[En castellano pueden verse sus *Obras filosóficas*, Madrid-París, Biblioteca Perojo, S. A. (trad. por Manuel de la Revilla).]

OBRAS SOBRE DESCARTES

SEBBA, G., *Bibliographia Cartesiana. A Critical Guide to the Descartes Literature* (1800-1960), La Haya: Martinus Nijhoff, 1964.
Descartes, A Collection of Critical Essays, ed. por W. Doney, Garden City, N. Y.: Doubleday, 1967. Contiene una amplia bibliografía de artículos en inglés.
Meta-Meditations: Studies in Descartes, ed. por A. Sesonske y N. Fleming, Belmont, Calif.: Wadsworth, 1965.
Cartesian Studies, ed. por R. J. Butler, Oxford: Blackwell, 1972.
BECK, L. J., *The Method of Descartes, A Study of the Regulae*, Oxford: Clarendon Press, 1952.
—— *The Metaphysics of Descartes, A Study of the Meditations*, Oxford: Clarendon Press, 1965.
SMITH, N. K., *New Studies in the Philosophy of Descartes*, Nueva York: Russell & Russell, 1966.
POPKIN, R. H., *The History of Scepticism from Erasmus to Descartes*, Nueva York: Harper Torchbooks, 1968.
VARTANIAN, A., *Diderot and Descartes*, Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1953.
AYER, A. J., «Cogito ergo sum», *Analysis*, 14 (1953), 27-31.
BLAKE, R. M., «The Role of Experience in Descartes' Theory of Method», *Phil. Rev.*, 38 (1929), 125-43; 201-18. Recogido en R. M. Blake, C. J. Ducasse y E. H. Madden, op. cit.

BUCHDAHL, G., «The Relevance of Descartes's Philosophy for Modern Philosophy of Science», *Brit. Hist. Sci.*, 1 (1963), 227-49.
HINTIKKA, J., «Cogito, ergo sum: Inference or Performance?», *Phil. Rev.*, 71 (1962), 3-32. Recogido en *Meta-Meditations: Studies in Descartes*, 50-76; y en *Descartes, A Collection of Critical Essays*, 108-39.
MILLER, L. G., «Descartes, Mathematics, and God», *Phil. Rev.*, 66 (1957), 451-65. Recogido en *Meta-Meditations: Studies in Descartes*, 37-49.
PASSMORE, J. A., «William Harvey and the Philosophy of Science», *Australian J. Phil.*, 36 (1958), 85-94.
SUPPES, P., «Descartes and the Problem of Action at a Distance», *J. Hist. Ideas*, 15 (1954), 146-52.

8. EL METODO AXIOMATICO DE NEWTON

OBRAS DE NEWTON

Unpublished Scientific Papers of Isaac Newton, ed. y trad. por A. R. Hall y M. B. Hall, Cambridge: Cambridge University Press, 1962.
Isaac Newton's Papers and Letters on Natural Philosophy, ed. por I. B. Cohen, Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1958.
Opticks, 4.ª ed. (1730), Nueva York: Dover Publications, 1952 [ed. cast., *Optica;* Madrid, Alfaguara, 1977 (ed. por Carlos Solís)].
Mathematical Principles of Natural Philosophy and His System of the World, trad. por A. Motte (1729), revisado por F. Cajori, 2 vols., Berkeley: University of California Press, 1962.

OBRAS SOBRE NEWTON

BUTTS, R. E., y DAVIS, J. W., eds., *The Methodological Heritage of Newton*, Toronto, Ont.: University of Toronto Press, 1970. Una colección de ensayos críticos.
The Texas Quarterly, vol. 10, núm. 3 (otoño de 1967), Austin: University of Texas Press. Contiene artículos sobre Newton de I. B. Cohen, A. R. Hall y M. B. Hall, J. Herivel, R. S. Westfall y otros.
COHEN, I. B., *Franklin and Newton*, Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1966.
DIJKSTERHUIS, E. J., *The Mechanization of the World Picture*, trad. por C. Dikshoorn, Oxford: Clarendon Press, 1961. Contiene una excelente discusión de la física y la filosofía de la ciencia de Newton.
HESSE, M., *Forces and Fields*, Totowa, N. J.: Littlefield, Adams & Co., 1965. El capítulo 6 es una discusión de los problemas filosóficos de la física newtoniana.
JAMMER, M., *Concepts of Force*, Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1957; *Concepts of Space*, Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1954. Contiene análisis de los conceptos newtonianos de espacio y fuerza.
KOYRÉ, A., *Newtonian Studies*, Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1965.
LEYDEN, W. von, *Seventeenth-Century Metaphysics*, Londres: Duckworth, 1968, capítulo 12.
MANUEL, F. E., *A Portrait of Isaac Newton*, Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1968.
WESTFALL, R. S., *Forces in Newton's Physics*, Londres: Macdonald, 1971.

BLAKE, R. M., «Isaac Newton and the Hypothetico-Deductive Method», en R. M. Blake, C. J. Ducasse y E. H. Madden, op. cit., 119-43.
BOAS, M. y HALL, A. R., «Newton's 'Mechanical Principles'», *J. Hist. Ideas,* 20 (1959), 167-78.
BUCHDAHL, G., «Science and Logic: Some Thoughts on Newton's Second Law of Motion in Classical Mechanics», *Brit. J. Phil. Sci.,* 2 (1951-1952), 217-35.
COHEN, I. B., «Newton in the Light of Recent Scholarship», *Isis,* 51 (1960), 489-514.
STRONG, E. W., «Newton's 'Mathematical Way'», *J. Hist. Ideas,* 12 (1951), 90-110.
TOULMIN, S., «Criticism in the History of Science: Newton on Absolute Space, Time, and Motion», *Phil. Rev.,* 68 (1959), 1-20; 203-27.

9. ANALISIS DE LAS IMPLICACIONES DE LA NUEVA CIENCIA PARA LA TEORIA DEL METODO CIENTIFICO

I. El rango cognoscitivo de las leyes científicas

GENERAL

BUCHDAHL, G., *Metaphysics and the Philosophy of Science,* Oxford: Blackwell, 1969.
WALLACE, W. A., *Causality and Scientific Explanation,* vol. II, Ann Arbor: University of Michigan Press, 1972.

OBRAS DE LOCKE

Works of John Locke, 10.ª ed., 10 vols., Londres: J. Johnson, 1801.
An Essay Concerning Human Understanding, 1.ª ed. (1690), 2 vols., Nueva York: Dover Publications, 1959 [ed. cast. *Ensayo sobre el entendimiento humano;* Madrid, Editora Nacional, 1980 (ed. por S. Rábade y E. García)].

OBRAS SOBRE LOCKE

Locke and Berkeley, ed. por C. B. Martin y D. M. Armstrong, Garden City, N. Y.: Doubleday & Company, 1968. Colección de ensayos críticos.
AARON, R. I., *John Locke,* 2.ª ed., Oxford: Clarendon Press, 1955.
GIBSON, J., *Locke's Theory of Knowledge,* Cambridge: Cambridge University Press, 1917.
MANDELBAUM, M., *Philosophy, Science and Sense Perception. Historical and Critical Studies,* Baltimore, Md.: Johns Hopkins Press, 1964, capít lo 1.
O'CONNOR, D. J., *John Locke,* Nueva York: Dover Publications, 1967.
YOLTON, J. W., *John Locke and the Way of Ideas,* Oxford: Clarendon Press, 1956.
—— *Locke and the Compass of Human Understanding,* Cambridge: Cambridge University Press, 1970.
HEIMANN, P. M. y J. E. MCGUIRE, «Newtonian Forces and Lockean Powers: Concepts of Matter in Eighteenth-Century Thought», *Hist. Stud. Phys. Sci.,* 3 (1971), 233-306.
LAUDAN, L., «The Nature and Sources of Locke's Views on Hypotheses», *J. Hist. Ideas,* 28 (1967), 211-23.

YOST, R. M., «Locke's Rejection of Hypotheses About Sub-Microscopic Events», *J. Hist. Ideas*, 12 (1951), 111-30.

OBRAS DE LEIBNIZ

Opera Philosophica, ed. por J. E. Erdman, 2 vols., Berlín, 1840.
Leibniz Selections, ed. por P. Wiener, Nueva York: Charles Scribner's Sons, 1951.
The Leibniz-Clarke Cor espondence, ed. por H. G. Alexander, Manchester: Manchester University Press, 1956 (ed. cast. Madrid, Taurus, en prensa).
Leibniz. Philosophical Papers and Letters, trad. y ed. por L. E. Loemker, Dordrecht: D. Re del Publishing Co., 1969. Contiene una ampl a bibliografía. [En castellano puede verse *Obras*, Madrid, Casa Editorial de Medina, S. A. (trad. por Patricio de Azcárate).]

OBRAS SOBRE LEIBNIZ

JOSEPH, H. W. B., *Lectu es on the Philosophy of Leibniz*, Oxford: Clarendon Press, 1949.
MARTIN, G., *Leibniz: Logic and Metaphysics*, trad. por K. J. Northcott y P. J. Lucas, Manchester: Manchester University Press, 1964.
RESCHER, N., *The Philosophy of Leibniz*, Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, 1967.
RUSSELL, B. A., *Critical Exposition of the Philosophy of Leibniz*, 2.ª ed., Londres: George Allen & Unwin, 1937.
GALE, George, «The Physical Theory of Leibniz», *Studia Leibnitiana, II* 2 (1970), 114-27.

OBRAS DE HUME

Hume's Philosophical Works, ed. por T. H. Green y T. H. Grose, 4 vols., Londres: Longmans, 1874-1875.
An Enquiry Concerning Human Understanding (1748), Chicago, Ill.: Open Court Publish ng Co., 1927.
A T eatise of Human Nature (1749-1750), ed. por L. A. Selby-Bigge, Oxford: Clarendon Press, 1965 [ed. cast., *Tratado de la natu aleza humana*; Madrid, Editora Nacional, 1977 (ed. por Félix Duque)].

OBRAS SOBRE HUME

JESSOP, T. E., *Bibliography of David Hume and of Scottish Philosophy f om Francis Hutcheson to Lord Balfour* (1938), New York: Russell & Russell, 1966.
Human Understanding. Studies in the Philosophy of David Hume, ed. por A. Sesonske y N. Fleming, Belmont, Calif.: Wadsworth Publishing Company, 1965. Colección de artículos sobre la filosofía de Hume.
Hume, ed. por V. C. Chappell, Garden City, N. Y.: Doubleday & Company, 1966. Colección de ensayos críticos.
FLEW, A., *Hume's Philosophy of Belief*, Nueva York: Humanities Press, 1961.
PRICE, H. H., *Hume's Theory of the Extern World*, Oxford: Clarendon Press, 1940.
SMITH, N. K., *The Philosophy of David Hume*, London: Macmillan, 1941.
MOORE, G. E., «Hume's Philosophy», en *Philosophical Studies*, Nueva York: Harcourt, Brace & Co., 1922. Recogido en *Readings in Philosophical Ana-*

lysis, ed. por H. Feigl y W. Sellars, Nueva York: Appleton-Century-Crofts, 1949, 351-63.
WILL, F. L., «Will the Future Be Like the Past?», *Mind*, 56 (1947), 332-47.
YOLTON, J. W., «The Concept of Experience in Locke and Hume», *J. Hist. Phil.*, 1 (1963), 53-72.

OBRAS DE KANT

Kant's Gesammelte Schriften, editado bajo la supervisión de la Academia de Ciencias de Berlín, 23 vols., Berlín, 1902.
Immanuel Kant's «Critique of Pure Reason», trad. por F. M. Müller, 2.ª ed. (1896), Nueva York: Macmillan, 1934 [ed. cast., *Crítica de la razón pura;* Madrid, Alfaguara, 1978 (ed. por Pedro Ribas)].
Kant's Kritik of Judgment, trad. por J. H. Bernard, Londres: Macmillan, 1892 [ed. cast., *Crítica del juicio;* Madrid, Espasa-Calpe, 1977 (trad. por M. García Morente)].
Metaphysical Foundations of Natural Science, trad. por J. Ellington, Indianapolis, Ind.: Bobbs-Merrill, 1970.

OBRAS SOBRE KANT

The Heritage of Kant, ed. por G. T. Whitney y D. F. Bowers, Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1939. Colección de ensayos sobre la filosofía de Kant.
Kant, ed. por R. P. Wolf, Garden City, N. Y.: Doubleday & Co., 1967. Colección de ensayos críticos.
Kant: Disputed Questions, ed. por M. S. Gram, Chicago, Ill.: Quadrangle Books, 1967. Colección de ensayos sobre la filosofía de Kant.
Kant and Modern Science, Synthèse 23 (1971), 2-453. Colección de ensayos críticos.
BECK, L. W., *Studies in the Philosophy of Kant*, Indianapolis, Ind.: Bobbs-Merrill, 1965.
BENNETT, J. F., *Kant's Analytic*, Cambridge: Cambridge University Press, 1966 [ed. cast., *La «Crítica de la razón pura» de Kant. 1. La Analítica;* Madrid, Alianza, 1979 (trad. por A. Montesinos)].
BIRD, G., *Kant's Theory of Knowledge*, Nueva York: Humanities Press, 1962.
KÖRNER, S., *Kant*, Harmondsworth: Penguin, 1960 [ed. cast., *Kant;* Madrid, Alianza, 1977 (trad. por I. Zapata Tellechea)].
PATON, H. J., *Kant's Metaphysics of Experience* (1936), 2 vols., Nueva York: Macmillan, 1961.
PRITCHARD, H. A., *Kant's Theory of Knowledge*, Oxford: Clarendon Press, 1909.
SMITH, N. K., *A Commentary to Kant's «Critique of Pure Reason»*, 2.ª edición (1923), Nueva York: Humanities Press, 1962.
STRAWSON, P. W., *The Bounds of Sense: An Essay on Kant's «Critique of Pure Reason»*, Londres: Methuen, 1966 [ed. cast., *Los límites del sentido. Ensayo sobre la «Crítica de la razón pura» de Kant;* Madrid, Revista de Occidente, 1975 (trad. por Carlos Triebaut)].
BUCHDAHL, G., «The Kantian 'Dynamic of Reason', with Special References to the Place of Casuality in Kant's System», en *Kant Studies Today*, ed. por L. W. Beck, La Salle: Open Court, 1969, 341-74.

II. Teorías del procedimiento científico

OBRAS DE HERSCHEL

A Preliminary Discourse on the Study of Natural Philosophy, Londres: Longman, Rees, Orme, Brown & Green and John Taylor, 1830.
Outlines of Astronomy, 2 vols., Nueva York: P. F. Collier & Son, 1902.
Familiar Lectures on Scientific Subjects, Nueva York: George Routledge and Sons, 1871.

OBRAS SOBRE HERSCHEL

DUCASSE, C. J., «John F. W. Herschel's Methods of Experimental Inquiry», en R. M. Blake, C. J. Ducasse y E. H. Madden, op. cit., 153-82.
CANNON, W. F., «John Herschel and the Idea of Science», *J. Hist. Ideas*, 22 (1961), 215-39.

OBRAS DE WHEWELL

The Historical and Philosophical Works of William Whewell, ed. por G. Buchdahl y L. Laudan, Londres: Frank Cass, 1967.
Astronomy and General Physics Considered with Reference to Natural Theology, Filadelfia, Pa.: Carey, Lea & Blanchard, 1836.
History of the Inductive Sciences (1837), 3 vols., Nueva York: D. Appleton and Co., 1859.
The Philosophy of the Inductive Sciences, 2.ª ed., 2 vols., Londres: J. W. Parker, 1847; 3.ª ed. ampliada en tres partes: *The History of Scientific Ideas* (2 vols.), Londres: J. W. Parker and Son, 1858; *Novum Organum Renovatum*, 3.ª ed., Londres: J. W. Parker and Son, 1858; y *On the Philosophy of Discovery*, Londres: J. W. Parker and Son, 1860.
William Whewell's Theory of Scientific Method, ed. por R. E. But , Pittsburgh, Pa.: University of Pittsburgh Press, 1968. Contiene una selección de los escri os de Whewell, una biblioteca de y sobre Whewell, y un ensayo in roductorio de But s.

OBRAS SOBRE WHEWELL

BUTTS, R. E., «Necessary Truth in Whewell's Philosophy of Science», *Am. Phil. Quart.* 2 (1965), 161-81.
—— «On Walsh's Reading of Whewell's View of Necessity», *Phil. Sci.* 32 (1965), 175-81.
—— «Whewell's Logic of Induction», en R. N. Giere y R. S. Westfall, eds., *Foundations of Scientific Method: The Nineteenth Century*, Bloomington: Indiana University Press, 1973, 53-85.
DUCASSE, C. J., «Whewell's Philosophy of Scientific Discovery», *Phil. Rev.*, 60 (1951), 56-69; 213-34. Recogido en R. M. Blake, C. J. Ducasse y E. H. Madden, op. cit., capítulo 9.
HEATHCOTE, A. W., «William Whewell's Philosophy of Science», *Brit. J. Phil. Sci.*, 4 (1953-1954), 302-14.
STRONG, E. W., «William Whewell and John Stuart Mill: Their Controversy About Scientific Knowledge», *J. Hist Ideas*, 16 (1955), 209-31.
WALSH, H. T., «Whewell and Mill on Induc ion», *Phil. Sci.* 29 (1962), 279-84.
—— «Whewell on Necessity», *Phil. Sci.* 29 (1962), 139-45.

OBRAS DE MEYERSON

Du cheminement de la pensée, 3 vols., París: F. Alcan, 1931.
La déduction rélativiste, París: Payot, 1925.
De l'explication dans les sciences, París: Payot, 1927.
Identity and Reality (1908), trad. por K. Loewenberg, Nueva York: Dover Publications, 1962 [ed. cast. *Identidad y realidad;* Madrid, Reus, 1929 (trad. por Joaquín Xiráu Paláu)].
Réel et determinisme dans la physique, París: Hermann, 1933.

OBRAS SOBRE MEYERSON

Boas, G. A., *A Critical Analysis of the Philosophy of Emile Meyerson,* Baltimore, Md.: The Johns Hopkins Press, 1930.
Kelly, T. R., *Explanation and Reality in the Philosophy of Emile Meyerson,* Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1937.
LaLumia, J., *The Ways of Reason. A Critical Study of the Ideas of Emile Meyerson,* Nueva York: Humanities Press, 1966.
Hillman, O. N., «Emile Meyerson on Scientific Explanation», *Phil. Sci.* 5 (1938), 73-80.

III. La estructura de las teorías científicas

OBRAS DE DUHEM

The Aime and Structure of Phisical Theory (2.ª ed., 1914), trad. por P. P. Wiener, Nueva York: Atheneum, 1962.
Etudes sur Léonard de Vinci, 3 vols., París: Hermann, 1906-1913.
Le système du monde. Histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic, 5 vols., París: A. Hermann et fils., 1913-1917. Reedición de 1954 en 6 vols.
To Save the Phenomena, trad. por E. Doland y C. Maschler, Chicago, Ill.: University of Chicago Press, 1969.

OBRAS SOBRE DUHEM

Lowinger, A., *The Methodology of Pierre Duhem,* Nueva York: Columbia University Press, 1941.
Agassi, J., «Duhem *versus* Galileo», *Brit. J. Phil. Sci.* 8 (1957-1958), 237-48.
Alexander, P., «The Philosophy of Science, 1850-1910», en *A Critical History of Western Philosophy,* ed. por D. J. O'Connor, Nueva York: Free Press, 1964, 417-20 [ed. cast. *Historia crítica de la filosofía occidental;* Buenos Aires, Paidós, 1967 (trad. Néstor Míguez)].
Ginzburg, B., «Duhem and Jordanus Nemorarius», *Isis,* 25 (1936), 341-62.

OBRAS DE CAMPBELL

Foundations of Science (anteriormente *Physics: The Elements,* 1919), Nueva York: Dover Publications, 1957.
What is Science? (1921), Nueva York: Dover Publications, 1952.

OBRAS SOBRE CAMPBELL

HEMPEL, C. G., *Aspects of Scientific Explanation and Other Essays in the Philosophy of Science,* Nueva York: Free Press, 1965, 206-10; 442-47 [edición cast., *La explicación científica;* Buenos Aires, Paidós, 1979 (trad. por M. Frasinetti de Gallo, N. Míguez, I. Ruiz Aused y C. S. Seibert de Yugnowski)].
HESSE, M. B., *Models and Analogies in Science,* Nueva York, Sheed & Ward, 1963 (passim).
SCHLESINGER, G., *Method in the Physical Sciences,* Nueva York: Humanities Press, 1963. Capítulo 3, sección 5.

OBRAS DE HEMPEL

Aspects of Scientific Explanation and Other Essays in the Philosophy of Science, Nueva York: Free Press, 1965 [ed. cast., *La explicación científica. Estudios sobre filosofía de la ciencia;* Buenos Aires, Paidós, 1979 (trad. por M. Frasinetti de Gallo, N. Míguez, I. Ruiz Aused y C. S. Seibert de Yugnowski)].
Philosophy of Natural Science, Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, 1966 [ed. cast., *Filosofía de la ciencia natural;* Madrid, Alianza, 1973 (trad. por Alfredo Deaño)].
«Deductive-Nomological vs. Statistical Explanation», en *Minnesota Studies in the Philosophy of Science,* vol. 3, ed. por H. Feigl y G. Maxwell, Minneapolis: University of Minnesota Press, 1962, 98-169.
«Fundamentals of Concept Formation in Empirical Science», *International Encyclopedia of Unified Science,* vol. II, núm. 7, Chicago, Ill.: University of Chicago Press, 1952.
«Geometry and Empirical Science», *Amer. Math. Monthly* 52 (1945), 7-17. Recogido en *Readings in Philosophical Analysis,* ed. por H. Feigl y W. Sellars, 238-49.
«On the Nature of Mathematical Truth», *Amer. Math. Monthly* 52 (1945), 543-56. Recogido en *Readings in Philosophical Analysis,* ed. por H. Feigl y W. Sellars, 222-37, y también en *Readings in the Philosophy of Science,* ed. por H. Feigl y M. Brodbeck. 148-62.

OBRAS SOBRE HEMPEL

CARNAP, R., *Logical Foundations of Probability,* Chicago, Ill.: University of Chicago Press, 1950, secciones 87 y 88.
SCHEFFLER, I., *The Anatomy of Inquiry,* Nueva York: Alfred A. Knopf, 1963. En la Parte III se discute el punto de vista de Hempel acerca de la confirmación.

OBRAS DE HESSE

Forces and Fields, London: Nelson, 1961.
Models and Analogies in Science, Notre Dame, Ind.: University of Notre Dame Press, 1966.
Science and the Human Imagination, London: S. C. M. Press, 1954.
The Structure of Scientific Inference, London: Macmillan, 1974.
«An Inductive Logic of Theories», en *Minnesota Studies in the Philosophy of Science,* IV, ed. por M. Radner y S. Winokur, Minneapolis: University of Minnesota Press, 1970, 164-80.

«Analogy and Confirmation Theory», *Phil. Sci.*, 31 (1964), 319-27.
«Consilience of Inductions», en *The Problem of Inductive Logic*, ed. por I. Lakatos, Amsterdam: North Holland Publishing Co., 1968, 232-46; 254-57.
«Is There an Independent Observation Language?», en *The Nature and Function of Scientific Theories*, ed. por R. Colodny, Pittsburgh, Pa.: University of Pittsburgh Press, 1970, 35-77.
«Models in Physics», *Brit. J. Phil. Sci.* 4 (1953-1954), 198-214.
«Positivism and the Logic of Scientific Theories», en *The Legacy of Logical Positivism*, ed. por P. Achinstein y S. Barker, Baltimore: The Johns Hopkins Press, 1969, 85-114.
«Theories, Dictinaries, and Observation», *Brit. J. Phil. Sci.* 9 (1958-1959), 12-28.

OBRAS DE HARRE

The Anticipation of Nature, London: Hutchinson, 1965.
The Explanation of Social Behavior, con Paul Secord, Oxford: Basil Blackwell, 1972.
An Introduction to the Logic of the Sciences, London: Macmillan, 1967 [edición cast., *Introducción a la lógica de las ciencias;* Barcelona, Labor, 1967 (trad. por J. C. García Berrón)].
Matter and Method, London: Macmillan, 1964.
The Method of Science, London: Wykeham Publications, 1970 [ed. cast., *El método de la ciencia;* Madrid, H Blume, 1979 (trad. por E. García Camarero y Carmen Giménez)].
Philosophies of Science, Oxford: Oxford University Press, 1972.
The Principles of Scientific Thinking, London: Macmillan, 1970.
Theories and Things, London: Newman History and Philosophy of Science Series, 1961 [ed. cast., *Teorías y cosas;* Barcelona, Herder, 1965 (trad. por J. Vallverdú)].
Causal Powers (con E. H. Madden), Oxford: Blackwell, 1975.
«Concepts and Criteria», *Mind*, 73 (1964), 353-63.
«Powers», *Brit. J. Phil. Sci.* 21, núm. 1 (febrero de 1970), 81-101.

10. EL INDUCTIVISMO FRENTE A LA VISION HIPOTETICO-DEDUCTIVA DE LA CIENCIA

OBRAS DE MILL

Works, ed. por F. E. L. Priestley, J. M. Robson, *et. al.*, To nto, Ont.: University of Toronto Press, 1963.
A System of Logic: Ratiocinative and Inductive, 6.ª ed., Londres: Longmans, Green, 1865 [ed. cast., *Sistema de lógica inductiva y deductiva;* Madrid, Ed. Daniel Jor , 1917 (trad. por E. Ovejero y Maury)].

OBRAS SOBRE MILL

ANSCHUTZ, R. P., *The Philosophy of J. S. Mill*, Oxford: Clarendon Press, 1953.
BRADLEY, F. H., *Principles of Logic*, 2.ª ed., Oxford: Oxford University Press, 1928. En el capítulo 3 de la parte II del vol. 2 se incluye una discusión del punto de vista de Mill sobre la inducción.
DUCASSE, C. J., «John Stuart Mill's System of Logic», en R. M. Blake, C. J. Ducasse y E. H. Madden, *Theories of Scientific Method: The Renaissance through the Nineteenth Century*, 218-32.

JEVONS, W. S., «John Stuart Mill's Philosophy Tested», Parte II de *Pure Logic and Other Minor Works*, London: Macmillan, 1890.
RYAN, A., *The Philosophy of John Stuart Mill*, London: Macmillan, 1970.

OBRAS DE JEVONS

The Principles of Science (1877), Nueva York: Dover Publications, 1958.

11. EL POSITIVISMO MATEMATICO Y EL CONVENCIONALISMO

OBRAS DE BERKELEY

The Works of George Berkeley, Bishop of Cloyne, 9 vols., ed. por A. A. Luce y T. E. Jessop, London: Thomas Nelson and Sons, 1948-57.

OBRAS SOBRE BERKELEY

LUCE, A. A., *The Dialectic of Inmaterialism*, Londres: Hodder and Stoughton, 1963.
WILD, J., *George Berkeley; A Study of His Life and Philosophy*, Nueva York: Russell & Russell, 1962.
MYHILL, J., «Berkeley's 'De Motu'–An Anticipation of Mach», en *George Berkeley: Lectures Delivered Before the Philosophical Union of the University of California*, Berkeley: University of California Press, 1957, 141-57.
POPPER, K. R., «A Note on Berkeley as Precursor of Mach», *Brit. J. Phil. Sci.* 4 (1953-1954), 26-36.
WHITROW, G. J., «Berkeley's Philosophy of Motion», *Brit. J. Phil. Sci.* 4 (1953-1954), 37-45.

OBRAS DE MACH

The Analysis of Sensations (1886), trad. por C. M. Williams, Nueva York: Dover Publications, 1959 [ed. cast., *Análisis de las sensaciones;* Madrid, Ed. Daniel Jorto, 1925 (trad. por E. Ovejero y Maury)].
History and Root of the Principle of the Conservation of Energy (1872), traducido por P. E. Jourdain, Chicago, Ill.: Open Court Publishing Co., 1910.
Popular Scientific Lectures (1896), trad. por T. J. McCormack, Chicago, Ill.: Open Court Publishing Co., 1943.
The Science of Mechanics (1883), trad. por T. J. McCormack, La Salle, Ill.: Open Court Publishing Co., 1960 [ed. cast. *Desarrollo histórico-crítico de la mecánica;* Buenos Aires, Espasa-Calpe, 1949 (trad. por José Babini)]. QA 8
Space and Geometry (1901-1903), trad. por T. J. McCormack, Chicago, Ill.: Open Court Publishing Co., 1906.

OBRAS SOBRE MACH

BRADLEY, J., *Mach's Philosophy of Science*, London: Athlone Press, 1971.
COHEN, R. S. y SEEGER, R. J., eds., *Ernst Mach, Physicist and Philosopher* (Boston Studies in the Philosophy of Science, vol. VI), Nueva York: Humanities Press, 1970. Contiene una bibliografía de las obras de y sobre Mach.
FRANK, P., *Modern Science and Its Philosophy*, capítulos 2 y 3, Nueva York: George Braziller, 1961, 13-62; 69-95.

ALEXANDER, P., «The Philosophy of Science, 1850-1910», en *A Critical History of Western Philosophy*, ed. por D. J. O'Connor, Nueva York: Free Press, 1964 [ed. cast., *Historia crítica de la filosofía occidental;* Buenos Aires, Paidós, 1967 (trad. por Néstor Míguez)].
BUNGE, M., «Mach's Critique of Newtonian Mechanics», *Am. J. Phys.* 34 (1966), 585-96.

OBRAS DE POINCARE

Mathematics and Science: Last Essays (trad. al inglés por J. W. Bolduc de los *Dernières Pensées*, 1913), Nueva York: Dover Publications, 1963 [ed. castellana, *Ultimos pensamientos;* Buenos Aires, Espasa-Calpe, 1946 (trad. por J. Banfi y A. B. Besio)].
Science and Hypothesis (1902), trad. por G. B. Halsted, Nueva York: Science Press, 1905 [ed. cast., *La ciencia y la hipótesis;* Buenos Aires, Espasa-Calpe, 1944 (trad. por A. B. Besio y J. Banfi)].
Science and Method (1909), trad. por F. Maitland, Nueva York: Dover Publications, 1952 [ed. cast., *Ciencia y método;* Buenos Aires, Espasa-Calpe, 1944 (trad. por M. García Miranda y L. Alonso)].
The Value of Science (1905), trad. por G. B. Halsted, Nueva York: Science Press, 1907 [ed. cast., *El valor de la ciencia;* Buenos Aires, Espasa-Calpe, 1946 (trad. por J. Banfi y A. B. Besio)].

OBRAS SOBRE POINCARE

ALEXANDER, P., «The Philosophy of Science, 1850-1910», en *A Critical History of Western Philosophy*, ed. por D. J. O'Connor, Nueva York: Free Press, 1964 [ed. cast., *Historia crítica de la filosofía occidental;* Buenos Aires, Paidós, 1967 (trad. por Néstor Míguez)].

OBRAS DE POPPER

Conjectures and Refutations, Nueva York, Basic Books, 1963 [ed. cast., *El desarrollo del conocimiento científico. Conjeturas y refutaciones;* Buenos Aires, Paidós, 1967 (trad. por N. Míguez)].
The Logic of Scientific Discovery, Nueva York: Basic Books, 1959 (1.ª ed., *Logik der Forschung*, 1934) [ed. cast., *La lógica de la investigación científica;* Madrid, Tecnos, 1967 (trad. por Víctor Sánchez de Zavala)].
Objective Knowledge, Oxford: Clarendon Press, 1972 [ed. cast., *Conocimiento objetivo;* Madrid, Tecnos, 1974 (trad. por Carlos Solís)].
The Open Society and Its Enemies, 2 vols., 4.ª ed. revisada, Nueva York: Harper Torchbooks, 1963 [ed. cast., *La sociedad abierta y sus enemigos;* Buenos Aires, Paidós, 1957].
«The Demarcation Between Science and Metaphysics», en *The Philosophy of Rudolf Carnap*, ed. por P. A. Schilpp, La Salle: Open Court, 1963, 183-226.
«Indeterminism in Quantum Physics and in Classical Physics», *Brit. J. Phil. Sci.*, I (1950-1951), 117-33; 173-95.
«The Nature of Philosophical Problems and their Roots in Science», *Brit. J. Phil. Sci.* 3 (1952-1953), 124-56.
«A Note on Natural Laws and So-Called 'Contrary-to-Fact Conditionals'», *Mind*, 58 (1949), 62-66.
«Philosophy of Science: A Personal Report», en C. A. Mace, *British Philosophy in the Mid-Century*, Londres: George Allen and Unwin, 1957, 155-91.

«The Propensity Interpretation of Probability», *Brit. J. Phil. Sci.* 10 (1959-1960), 25-42.

OBRAS SOBRE POPPER

ACKERMAN, R. J., *The Philosophy of Karl Popper,* Amherst: University of Massachusetts Press, 1976.

BUNGE, M., ed., *The Critical Approach to Science and Philosophy,* Glencoe: Free Press, 1964. Colección de artículos, con una bibliografía de las publicaciones de Popper.

FAIN, H., «Review of The Logic of Scientific Discovery», *Phil. Sci.* 28 (1961), 319-24.

LAKATOS, I., y MUSGRAVE, A., eds., *Criticism and the Growth of Knowledge,* Cambridge: Cambridge University Press, 1970 [ed. cast., *La crítica y el desarrollo del conocimiento;* Barcelona, Grijalbo, 1975 (trad. por Francisco Hernán)]. Contiene ensayos sobre las concepciones de Popper y T. S. Kuhn acerca del cambio científico.

SCHILPP, P. A., ed., *The Philosophy of Karl R. Popper,* 2 vols., La Salle: Open Court Publishing Co., 1974. Contiene una 'Autobiografía intelectual' de Popper, numerosos ensayos sobre su filosofía y una bibliografía de sus escritos reunida por T. E. Hansen.

12. LA FILOSOFIA DE LA CIENCIA DEL RECONSTRUCCIONISMO LOGICO

OBRAS DENTRO DE LA TRADICION DEL RECONSTRUCCIONISMO LOGICO

BRAITHWAITE, R. B., *Scientific Explanation,* Cambridge: Cambridge University Press, 1953 [ed. cast., *La explicación científica;* Madrid, Tecnos, 1965 (traducido por Víctor Sánchez de Zavala)].

BRIDGMAN, P. W., *The Logic of Modern Physics,* Nueva York: Macmillan, 1927.

—— *The Nature of Physical Theory,* Princeton: Princeton University Press, 1936.

—— *Reflections of a Physicist,* Nueva York: Philosophical Library, 1950.

—— *The Way Things Are,* Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1959.

CARNAP, R., *Logical Foundations of Probability,* 2.ª ed., Chicago: University of Chicago Press, 1962.

—— *Philosophical Foundations of Physics,* ed. por M. Gardner, Nueva York: Basic Books, 1966 [ed. cast., *Fundamentación lógica de la física;* Buenos Aires, Sudamericana, 1969 (trad. por Néstor Míguez)].

DANTO, A., y MORGENBESSER, S., eds., *Philosophy of Science,* Nueva York: Meridian Books, 1960.

FEIGL, H., y BRODBECK, M. eds., *Readings in the Philosophy of Science*, Nueva York: Appleton-Century-Crofts, 1953.

FRANK, P., *Philosophy of Science,* Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1957.

HEMPEL, C., *Aspects of Scientific Explanation,* Nueva York: Free Press, 1965 [ed. cast., *La explicación científica. Estudios sobre la filosofía de la ciencia;* Buenos Aires, Paidós, 1979 (trad. por M. Frasineti de Gallo, N. Ruiz Aused y C. S. Seibert de Yugnowski)].

HUTTEN, E., *The Language of Modern Physics,* Londres: George Allen & Unwin, 1956.

NAGEL, E., *The Structure of Sciense*, Nueva York: Harcourt, Brace & World, 1961 [ed. cast., *La estructura de la ciencia;* Buenos Aires, Paidós, 1962 (traducido por Néstor Míguez)].
NEURATH, O., CARNAP, R., y MORRIS, C., eds., *Foundations of the Unity of Science*, 2 vols. (anteriormente, *International Encyclopedia of Unified Science*, 1938-1969), Chicago: University of Chicago Press, 1969-1970. Contiene monografías a cargo de R. Carnap, P. Frank, C. Hempel y otros.
PAP, A., *An Introduction to the Philosophy of Science*, Glencoe: Free Press, 1962.
CARNAP, R., «The Methodological Character of Theoretical Concepts», en *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, vol. I, ed. por H. Feigl y M. Scriven, Minneapolis: University of Minnesota Press, 1956, 38-76.
NAGEL, E., «Theory and Observation», en E. Nagel, S. Bromberger y A. Grünbaum, *Observation and Theory in Science*, Baltimore: The Johns Hopkins Press, 1971, 15-43.

OBRAS SOBRE LA TRADICION DEL RECONSTRUCCIONISMO LOGICO

BROWN, H. I., *Perception, Theory and Commitment*, Chicago: University of Chicago Press, 1977.
SCHEFFLER, I., *The Anatomy of Inquiry*, Indianapolis: Bobbs-Merrill, 1963.
SCHILPP, P. A., ed., *The Philosophy of Rudolf Carnap*, La Salle: Open Court, 1963. Contiene una 'Autobiografía intelectual' de Carnap, numerosos ensayos sobre su filosofía y una bibliografía de sus escritos.
HEMPEL, C., «A Logical Appraisal of Operationism», en *The Validation of Scientific Theories*, ed. por P. Frank, Boston: Beacon Press, 1954, 52-67.
SUPPE, F., «The Search for Philosophic Understanding of Scientific Theories», en *The Structure of Scientific Theories*, ed. por F. Suppe, Urbana: University of Illinois Press, 1974 [ed. cast., *La estructura de las teorías científicas;* Madrid, Editora Nacional, 1979 (trad. por Pilar Castrillo y Eloy Rada)]. Contiene una amplia bibliografía.

13. EL ATAQUE A LA ORTODOXIA

ACHINSTEIN, P., *Concepts of Science*, Baltimore: The John Hopkins Press, 1968.
FEYERABEND, P., *Against Method*, Londres: New Left Books, 1975.
GOODMAN, N., *Fact, Fiction and Forecast*, 2.ª ed., Indianapolis: Bobbs-Merril, 1965.
HANSON, N. R., *Patterns of Discovery*, Cambridge: Cambridge University Press, 1958 [ed. cast., *Patrones de descubrimiento;* Madrid, Alianza, 1977 (traducido por Enrique García Camarero)].
MICHALOS, A., *The Popper-Carnap Controversy*, La Haya: Martinus Nijhoff, 1971.
TOULMIN, S., *Foresight and Understanding*, Nueva York: Harper Torchbooks, 1961.
FEIGL, H., «Existential Hypotheses», *Phil. Sci.* 17 (1950), 35-62. En ese mismo número se incluyen las críticas de C. Hempel, E. Nagel y C. W. Churchman al artículo de Feigl, así como una réplica de éste.
FEYERABEND, P., «Explanation, Reduction and Empiricism», en *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, vol. III, ed. por H. Feigl y G. Maxwell, Minneapolis: University of Minnesota Press, 1962, 28-97.
—— «Problems of Empiricism», en *Beyond the Edge of Certainty*, ed. por R. Colodny, Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1965.

—— «Problems of Empiricism Part II», en *The Nature and Function of Scientific Theories*, ed. por R. Colodny, Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 1970, 275-353.
—— «How to Be a Good Empiricist–A Plea for Tolerance in Matters Epistemological», en *Readings in the Philosophy of Science*, ed. por B. Brody, Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1970, 319-42 [ed. cast., *Cómo ser un buen empirista. Defensa de la tolerancia en cuestiones epistemológicas;* Valencia, Cuadernos Teorema, núm. 7, 1976 (trad. por Diego Ribes y María Rosario de Madaria)].
GRÜNBAUM, A., «The Duhemian Argument», *Phil. Sci.* 27 (1960), 75-87.
—— «The Falsifiability of Theories: Total or Partial? A Contemporary Evaluation of the Duhem-Quine Thesis», en *Boston Studies in the Philosophy of Science*, vol. I, ed. por M. Wartofsky, Dordrecht: D. Reidel, 1963, 178-95.
—— «Temporally Asymmetric Principles, Parity Between Explanation and Prediction, and Mechanism and Teleology», *Phil. Sci.* 29 (1962), 146-70.
QUINE, W., «Two Dogmas of Empiricism», en *From a Logical Point of View*, Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1953 [ed. cast., *Desde un punto de vista lógico;* Barcelona, Ariel, 1962 (trad. por Manuel Sacristán)].
SCRIVEN, M., «Explanation and Prediction in Evolutionary Theory», *Science* 130 (28 de agosto de 1959), 477-82.
—— «Explanations, Predictions, and Laws», en *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, vol. III, ed. por H. Feigl y G. Maxwell, Minneapolis: University of Minnesota Press, 1962, 170-230.
SELLARS, W., «The Language of Theories», en *Readings in the Philosophy of Science*, ed. por B. Brody, 343-53.
SPECTOR, M., «Models and Theories», *Brit. J. Phil. Sci.* 16 (1965-1966), 121-42.

14. ALTERNATIVAS A LA ORTODOXIA

KORDIG, C., *The Justification of Scientific Change*, Dordrecht: D. Reidel, 1971.
KUHN, T. S., *The Structure of Scientific Revolutions*, 2.ª ed., Chicago: University of Chicago Press, 1970 [ed. cast., *La estructura de las revoluciones científicas;* México, Fondo de Cultura Económica, 1975 (trad. por Agustín Contín)]. Incluye el 'Postscript-1969', respuesta de Kuhn a las críticas suscitadas por la primera edición.
—— *The Essential Tension*, Chicago: University of Chicago Press, 1977.
LAUDAN, L., *Progress and Its Problems*, Berkeley: University of California Press, 1977.
SCHEFFLER, I., *Science and Subjectivity*, Indianapolis: Bobbs-Merrill, 1967. Ataque a las alternativas 'subjetivistas' a la ortodoxia.
STEGMÜLLER, W., *The Structure and Dynamics of Theories*, Nueva York: Springer Verlag, 1976 (ed. cast. en Ariel, en preparación).
KUHN, T. S., «Logic of Discovery or Psychology of Research?», en *Criticism and the Growth of Knowledge*, ed. por I. Lakatos y A. Musgrave, Cambridge University Press, 1970 [ed. cast., *La crítica y el desarrollo del conocimiento;* Barcelona, Grijalbo, 1975 (trad. por Francisco Hernán)]. Contiene ensayos de J. Watkins, S. Toulmin, L. P. Williams, K. Popper, M. Masterman y P. Feyerabend, en los que se discute la posición de Kuhn, así como una réplica de éste.
LAKATOS, I., «Changes in the Problem of Inductive Logic», en *The Problem of Inductive Logic*, ed. por I. Lakatos, Amsterdam: North-Holland, 1968, 315-417 [ed. cast. de los escritos de Lakatos, Madrid, Alianza, en prensa].

—— «Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes», en *Criticism and the Growth of Knowledge*, ed. por I. Lakatos y A. Musgrave, 91-195 [ed. cast., *La crítica y el desarrollo del conocimiento*, ya citado].
—— «History of Science and its Rational Reconstructions», en *Boston Studies in the Philosophy of Science*, vol. VIII, Dordrecht: D. Reidel, 1971 [ed. castellana en *La crítica y el desarrollo del conocimiento*, ya citado]. Este volumen de los *Boston Studies* contiene asimismo las críticas de T. S. Kuhn, H. Feigl, R. J. Hall y N. Koertge a la posición de Lakatos, así como su respuesta a las mismas.
McMullin, E., «The History and Philosophy of Science: A Taxonomy», en *Historical and Philosophical Perspectives of Science*, ed. por R. Stuewer, Minneapolis: University of Minnesota Press, 1970, 12-67.
Shapere, D., «Scientific Theories and Their Domains», en *The Structure of Scientific Theories*, ed. por F. Suppe, 518-65 [ed. cast., *La estructura de las teorías científicas*, ya citado].

143 Christopher Freeman: **La teoría económica de la innovación industrial**
Curso de Economía Moderna
Penguin/Alianza

144 Edward R. Tannenbaum: **La experiencia fascista: sociedad y cultura en Italia (1922-1945)**

145 **Nuevos horizontes de la lingüística.** Introducción y selección de John Lyons

146 M. A. Utton: **La concentración industrial**
Curso de Economía Moderna
Penguin/Alianza

147 Ray Hemmings: **Cincuenta años de libertad: las ideas de A. S. Neill y la escuela de Summerhill**

148 G. K. Helleiner: **Comercio internacional y desarrollo económico**
Curso de Economía Moderna
Penguin/Alianza

149 Daniel Bell: **El advenimiento de la sociedad post-industrial. Un intento de prognosis social**

150 Walter L. Wallace: **La lógica de la ciencia en la sociología**

151 E. H. Carr: **Historia de la Rusia Soviética. El socialismo en un solo país (1924-1926). 3. Las relaciones exteriores. 1. La Unión Soviética y Occidente**

152 E. H. Carr: **Historia de la Rusia Soviética. El socialismo en un solo país (1924-1926). 3. Las relaciones exteriores. 2. La Unión Soviética y Oriente. La estructura de la Comintern**

153 J. M. Thomson: **Teoría económica del transporte**
Curso de Economía Moderna
Penguin/Alianza

154 Amartya K. Sen: **Elección colectiva y bienestar social**

155 Ignace J. Gelb: **Historia de la escritura**

156 C. H. Waddington y otros: **Hacia una biología teórica**

157 Nathan Wachtel: **Los vencidos. Los indios del Perú frente a la conquista española (1530-1570)**

158 Michael A. Arbib: **Cerebros, máquinas y matemáticas**

159 Kenneth F. Wallis: **Introducción a la econometría**

160 B. Rusell, Max Black, Wesley C. Salmon y otros: **La justificación del razonamiento inductivo.** Introducción y selección de Richard Swinburne

161 Arun Bose: **Economía política marxiana y postmarxiana**
Curso de Economía Moderna
Penguin/Alianza

162 Arthur Mitzman: **La jaula de hierro. Una interpretación histórica de Max Weber**

163 H. A. John Green: **La teoría del consumo**
Curso de Economía Moderna
Penguin/Alianza

164 Eugen Fink: **La filosofía de Nietzsche**

165 John Losee: **Introducción histórica a la filosofía de la ciencia**

166 **Semántica y sintaxis en la lingüística transformatoria, 2.** Compilación de Víctor Sánchez de Zavala

167 168 John Hospers: **Introducción al análisis filosófico**

169 Kenneth E. Boulding: **La economía del amor y del temor**

170 Manuel Medina: **Las organizaciones internacionales**

171 H. Myint: **La economía del Sudeste asiático**
Curso de Economía Moderna
Penguin/Alianza

172 Robert H. Lowie: **Religiones primitivas**

173 Harry W. Richardson: **Política y planificación del desarrollo regional en España**

174 **Antología de la literatura española de los siglos XI al XVI.** Selección y notas de Germán Bleiberg

175 Titus Burckhardt: **La civilización hispano-árabe**

176 I. Eibl-Eibesfeldt: **El hombre preprogramado. Lo hereditario como factor determinante en el comportamiento humano**

117 Norwood Russell Hanson: **Patrones de descubrimiento. Observación y explicación: Guía de la filosofía de la ciencia**

178 Bryan Carsberg: **Teoría económica de las decisiones empresariales**
Curso de Economía Moderna
Penguin/Alianza

179 Joseph Needham: **La gran titulación. Ciencia y sociedad en Oriente y Occidente**

180 G. L. S. Schackle: **El inquiridor económico**

181 Mervyn Matthews: **Clases y sociedad en la Unión Soviética**

182 Jean Piaget, Max Wertheimer, Mary Henle, R. S. Woodworth y otros: **Investigaciones sobre lógica y psicología**. Introducción y compilación de Juan A. Delval

183, 184 Robert K. Merton: **La sociología de la ciencia**

185 J. E. Goldthorpe: **Introducción a la sociología**

186 Aubrey Manning: **Introducción a la conducta animal**

187 Ian Stewart: **Conceptos de matemática moderna**

188 S. Körner: **Kant**

189 Nicolás Sánchez-Albornoz: **España hace un siglo: una economía dual**

190 Richard Montague: **Ensayos de filosofía formal**. Selección e introducción de Richmond H. Thomason

191 Stephen Toulmin: **La comprensión humana. 1. El uso colectivo y la evolución de los conceptos**

192 Josefina Gómez Mendoza: **Agricultura y expansión urbana**

193 Henry Kamen: **El siglo de hierro. Cambio social en Europa, 1550-1660**

194 Alexander Mitscherlich: **Tesis sobre la ciudad del futuro**

195 Daniel Bell: **Las contradicciones culturales del capitalismo**

196 Manuel García-Pelayo: **Las transformaciones del Estado contemporáneo**

197 Geoffrey Leech: **Semántica**

198 Ramón Tamames: **Ecología y desarrollo. La polémica sobre los límites del crecimiento**

199 José Varela Ortega: **Los amigos políticos. Partidos, elecciones y caciquismo en la Restauración (1875-1900)**

200 C. U. M. Smith: **El problema de la vida**

201 Paul Roazen: **Freud y sus discípulos**

202 Michael Argyle: **Psicología del comportamiento interpersonal**

203 Norwood Russell Hanson: **Constelaciones y conjeturas**

204 John Chadwick: **El mundo micénico**

205 Javier Aracil: **Introducción a la dinámica de sistemas**

206 Imre Lakatos: **Pruebas y refutaciones. La lógica del descubrimiento matemático**

207 J. Piaget, G. Choquet, J. Diendonné, R. Thom y otros: **La enseñanza de las matemáticas modernas**. Selección y prólogo de Jesús Hernández

208 L. von Bertalanffy, W. Ross Ashby, G. M. Weinberg y otros: **Tendencias en la Teoría General de Sistemas**. Selección y prólogo de George J. Klir

209 F. W. Walbank: **La pavorosa revolución. La decadencia del Imperio Romano en Occidente**

210 Luis Racionero: **Sistemas de ciudades y ordenación del territorio**

211 Luigi L. Pasinetti: **Crecimiento económico y distribución de la renta**

212 Alvin W. Gouldner: **La dialéctica de la ideología y la tecnología**

213 Philip W. Silver: **Fenomenología y Razón Vital: Génesis de «Meditaciones del Quijote» de Ortega y Gasset**

214 Henri Pirenne: **Mahoma y Carlomagno**

215 Marcel Merle: **Sociología de las relaciones internacionales**

216 Steven Weinberg: **Los tres primeros minutos del universo**

217 Mary Douglas: **Símbolos naturales. Exploraciones en cosmología**

218 Craig Fields: **Introducción a los computadores**

219 George Rudé: **Europa en el siglo XVIII. La aristocracia y el desafío burgués**

220 Johan Huizinga: **El otoño de la Edad Media**

221 John Passmore: **La responsabilidad del hombre frente a la naturaleza**

222 Ashley Montagu: **La naturaleza de la agresividad humana**

223 Jesús Mosterín: **Racionalidad y acción humana**

224 Antología de la literatura española de finales del siglo XVI a mediados del XVII. Selección y notas de Germán Bleiberg

225 José Ferrater Mora: **De la materia a la razón**

226 Niko Tinbergen: **Estudios de etología, 2**

227 José Antonio Maravall: **Las Comunidades de Castilla**

228 Pierre Gourou: **Introducción a la geografía humana**

229 Richard J. Bernstein: **Praxis y acción**

230 Ludwig von Bertalanffy: **Perspectivas en la teoría general de sistemas**

231 Karl Bühler: **Teoría del lenguaje**

232 Roy Harrod: **Dinámica económica**

233 Jonathan Bennett: **La «Crítica de la razón pura» de Kant. 1. La Analítica**

234, 235 Peter Calvocoressi, Guy Wint: **Guerra total**

236 Anthony Giddens: **La estructura de clases en las sociedades avanzadas**

237 Julius Klein: **La Mesta**

238 Aron Gurwitsch: **El campo de la conciencia. Un análisis fenomenológico**

239 Robert Nisbet, Thomas S. Kuhn, Lynn White y otros: **Cambio social**

240 Alvin W. Gouldner: **La sociología actual: renovación y crítica**

241, 242 I. M. Crombie: **Análisis de las doctrinas de Platón**

243 John F. Coverdale: **La intervención fascista en la Guerra Civil española**

244 Stephen E. Toulmin: **El puesto de la razón en la ética**

245 Anthony Wilden: **Sistema y estructura**

246 Rosario Villari: **La revuelta antiespañola en Nápoles**

247 A. J. Ayer: **Los problemas centrales de la filosofía**

248 Steven Runciman: **Vísperas sicilianas**

249 Concepción de Castro: **La Revolución Liberal y los municipios españoles**

250 Michael Ruse: **La filosofía de la biología**

251 Pedro González Blasco, José Jiménez Blanco, José M.ª López Piñero: **Historia y sociología de la ciencia en España**

252 Erving Goffman: **Relaciones en público**

253, 254 Joseph Ki-Zerbo: **Historia del África negra**

255 Karl Bühler: **Teoría de la expresión**

256 Alvin W. Gouldner: **El futuro de los intelectuales y el ascenso de la nueva clase**

257 Georg Henrik von Wright: **Explicación y comprensión**

258 W. H. Thorpe: **Naturaleza animal y naturaleza humana**

259 Eric R. Wolf, J. Clyde Mitchell y otros: **Antropología social de las sociedades complejas**. Compilación de Michael Banton

260 R. W. Southern: **La formación de la Edad Media**

261 Barry Barnes, Thomas S. Kuhn, Robert K. Merton y otros: **Estudios sobre sociología de la ciencia**. Compilación e introducción de Barry Barnes

262 Thomas S. Kuhn: **La teoría del cuerpo negro y la discontinuidad cuántica, 1894-1912**

263, 264 Friedrich Heer: **Europa, madre de revoluciones**

265 G. W. F. Hegel: **Lecciones sobre la filosofía de la historia universal**

266 Vilfredo Pareto: **Forma y equilibrio sociales. Extracto del tratado de sociología general**

267 Giovanni Sartori: **Partidos y sistemas de partidos, 1**

268 E. R. Dodds: **Los griegos y lo irracional**

269 Norman Cohn: **Los demonios familiares de Europa**

270 Hans J. Eysenck y Glenn D. Wilson: **El estudio experimental de las teorías freudianas**

271 Wilhelm Dilthey: **Introducción a las ciencias del espíritu**

272 Enrique Ballestero: **El encuentro de las ciencias sociales**

273 Karl Jaspers: **Origen y meta de la historia**

274 Manuel García-Pelayo: **Los mitos políticos**

275 Nicolás Ramiro Rico: **El animal ladino y otros estudios políticos**

276 Leszek Kolakowski: **Las principales corrientes del marxismo. 1. Los fundadores**

277 Benjamín Ward: **¿Qué le ocurre a la teoría económica?**

278 Francisco J. Ayala: **Origen y evolución del hombre**

279 Bernhard Rensch: **Homo sapiens. De animal a semidiós**

280 J. Hintikka, A. MacIntyre, P. Winch y otros: **Ensayos sobre explicación y comprensión**

281 **Antología de la literatura española de mediados del siglo XVII a mediados del XVIII.** Selección y notas de Germán Bleiberg

282 T. W. Moore: **Introducción a la teoría de la educación**

283 E. H. Carr, R. W. Davies: **Historia de la Rusia Soviética. Bases de una economía planificada (1926-1929).** Volumen I, 1.ª parte

284 E. H. Carr, R. W. Davies: **Historia de la Rusia Soviética. Bases de una economía planificada (1926-1929).** Volumen I, 2.ª parte

285 Alberto Recarte: **Cuba: economía y poder (1959-1980)**

286 Kurt Gödel: **Obras completas**

287 J. A. Hobson: **Estudio del imperialismo**

288 Francisco Rodríguez Adrados: **El mundo de la lírica griega antigua**

289 H. J. Eysenck: **La desigualdad del hombre**

290 Santiago Ramón y Cajal: **Recuerdos de mi vida: Historia de mi labor científica**

291 Mark Nathan Cohen: **La crisis alimentaria de la prehistoria**

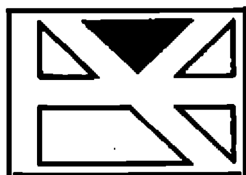
292 Wolfgang Stegmüller: **La concepción estructuralista de las teorías**

293 Norman Cohn: **En pos del Milenio**

294 Imre Lakatos: **Matemáticas, ciencia y epistemología**

295 P. D. King: **Origen y sociedad en el reino visigodo**

¿Cuáles son las caracteristicas de la investigación científica? ¿Qué condiciones debe satisfacer una explicación científica para ser correcta? ¿Cúal es el rango cognoscitivo de las leyes y principios científicos? El propósito de JOHN LOSEE en su INTRODUCCION HISTORICA A LA FILOSOFIA DE LA CIENCIA —revisada, corregida y considerablemente ampliada en esta nueva edición— es examinar las respuestas dadas a estas cuestiones desde Grecia hasta nuestros días. Aunque las fuentes primarias del estudio sean las ideas expresadas por teóricos e investigadores, la flexibilidad de la línea divisoria entre ciencia y filosofía de la ciencia obliga a contrastar esas opiniones con la práctica real. La obra estudia los jalones más importantes de un amplio recorrido histórico: la filosofía de la ciencia en Aristóteles; la orientación pitagórica y sus precedentes platónicos; el ideal de sistematización deductiva en Euclides y Arquímedes; el atomismo de Demócrito y el concepto de mecanismo subyacente; la afirmación y el desarrollo de la filosofía aristotélica en el período medieval (Grosseteste, Roger Bacon, Duns Escoto, Occam, Autrecourt); el ataque del siglo XVII a la filosofía aristotélica (Galileo, Francis Bacon, Descartes); el método axiomático de Newton; el análisis de las implicaciones de la nueva ciencia para la teoria del método científico (las opiniones de Locke, Leibniz, Hume y Kant sobre el rango cognoscitivo de las leyes científicas); el inductivismo frente a la visión hipotético-deductiva de la ciencia (Stuart Mill, Nagel, Philipp Frank); el positivismo matemático y el convencionalismo (desde Berkeley a Ernst Mach, Henri Poincaré y N.R. Hanson); los puntos de vista del siglo XX sobre la demarcación de la ciencia y los criterios operacional y de verificabilidad (Bridgman, Carnap, Ayer, Popper). Esta nueva edición incluye, además tres capítulos dedicados a los filósofos de la ciencia posteriores a Karl Popper, en especial Thomas S. Kuhn, I. Lakatos y P.K. Feyerabend.



Alianza Editorial

Cubierta Daniel Gil